This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

DIE TECHNIK IM ZWANZIGSTEN JAHRHUNDERT

Library
of the
University of Wisconsin

Überführung der Hochbahn zu Berlin über die elektrische Vorortbahn und Fernbahn.

Zu Doeppner: Dampf- und Elektrobahnen.

DIE TECHNIK IM ZWANZIGSTEN JAHRHUNDERT

[illegible] HERVORRAGENDER [illegible]
[illegible] VON

GEH. REG.-RAT DR. A. MIETHE
[illegible]

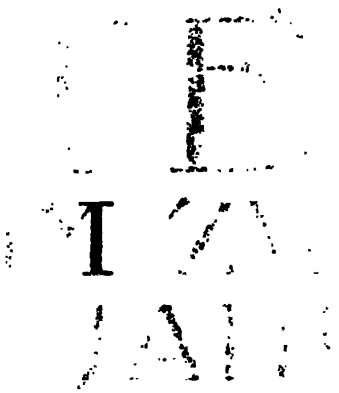
VIERTER BAND

DAS VERKEHRSWESEN • DIE GROSSVERARBEITUNG

BRAUNSCHWEIG 1912. VERLAG VON [illegible]

Überführung der Hochbahn zu Berlin über die elektrische Vorortbahn und Fernbahn.

Zu Doeppner: Dampf- und Elektrobahnen.



DAS VERKEHRS[illegible]

BRAUNSCHWEIG 19[illegible] VERLAG VON [illegible]

DIE TECHNIK IM ZWANZIGSTEN JAHRHUNDERT

UNTER MITWIRKUNG HERVORRAGENDER VERTRETER DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN HERAUSGEGEBEN VON

GEH. REG.-RAT DR. A. MIETHE
PROFESSOR AN DER KÖNIGL. TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU BERLIN

—o—

VIERTER BAND:

DAS VERKEHRSWESEN • DIE GROSZFABRIKATION

—o—

BRAUNSCHWEIG 1912. VERLAG VON GEORGE WESTERMANN

Alle Rechte,
insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1912
by George Westermann,
Braunschweig.

Druck von George Westermann in Braunschweig.

171858

SB
.T33
4

INHALTSVERZEICHNIS

Dampf- und Elektrobahnen. Von Direktor Alexander Doeppner (Wildau, Kreis Teltow) . . . . . Seite 1—58

Seite

Dampflokomotiven für verschiedene Zwecke . 3
Einteilung und Bezeichnung 3
Spurweite 5
Straßenlokomotiven 5
Normalspur 5
Schmalspur 6
Leistungsfähigkeit der Dampflokomotive 6
Zugkraft der Lokomotive . . 6
Laufwiderstand 6
Steigungswiderstand 7
Krümmungswiderstand 7
Triebachslast 7
Maschinenstärke 7
Bemessung der Kesselgröße 7
Anfachung des Kesselfeuers 7
Dampfkessel 8
Feuerbuchskessel 8
Feuerbuchse 8
Ankerlose Lokomotivkessel . 9
Wasserröhrenkessel 9
Rauchröhrenkessel 9
Überhitzung des Dampfes . . 10
Lokomotivüberhitzer 11
Dampfmaschinen 13
Dampfwirkung mit einfacher oder zweistufiger Dampfdehnung 13
Zweizylinder-Verbundlokomotiven 13
Vierzylinderlokomotiven . . . 13
Heißdampf-Verbund-Schnellzuglokomotive 13
Muschelschieber 14
Rund- oder Kolbenschieber . 14
Flachschieber 14
Schnellzug-Lokomotiven . . . 14
Entwicklung der Schnellzuglokomotive 14
Personenzug-Lokomotive . . 18
Tenderlokomotiven 18
Entwicklung der Personenzuglokomotiven 18
Moderne Bauart von Personenzuglokomotiven 18
Personenzuglokomotive für kürzere Strecken 19

Seite

Schmalspurige Personenzuglokomotive 20
Lokomotive für gemischte Züge 20
Güterzuglokomotive 20, 21
Heißdampf-Tenderlokomotive 21
Güterzug-Verbundlokomotiven 22
Heißdampf-Güterzuglokomotive 22
Vierzylinder-Heißdampf-Güterzuglokomotive 23
Lokomotiven für Nebenbahnen 24
Tenderlokomotiven . . 24, 26, 31
Lokomotiven für Kleinbahnen 25, 30
Kurvenbewegliche Lokomotiven 28
Mallet-Kleinbahnlokomotive . 29
Straßenbahnlokomotiven . . . 31
Zahnradlokomotiven 31
Zahnradlokomotive für gemischten Betrieb 33
Zahnradvorgelege 34
Zahnstangenform 34
Lokomotive für Industriezwecke 34
Rangierlokomotive 34
Kranlokomotive 35
Feuerlose Lokomotive 36
Lokomotive für Transportbahnen 38
Baulokomotiven 38
Berechnung der Zugleistung 39
Elektrobahn 40
Stadtschnellbahn 40
Überlandbahn mit Gleichstrom 40
Drehstrom-Gleichstrom-Umformer-Unterwerk 41
Hoch- und Untergrundbahn . 42
Akkumulatorentriebwagen . . 42
Benzolelektrische Triebwagen 42
Elektrogüterbahn 43
Transportlokomotive für Abraumtransporte 43
Serienparallelkontroller . . . 44
Kollektor 44
Mehrphasenstrommotor . . . 44

Seite

Lauffen-Frankfurter Kraftübertragung 45
Wechselstrommotor 45
Elektrifizierung der Vollbahnen 46
Wechselstrom-Bahnmotor . . 46
Einphasenbahn 46
Elektrische Hauptbahnlokomotive mit Antrieb durch Parallelkurbelgetriebe . . . 46
Vollbahnbetrieb mit Wechselstrom 46
Kraftwerk 48
Speiseleitung 48
Hochspannungsfreileitung . . 48
Stützisolatoren 48
Hängeisolatoren 48
Unterwerk 49
Fahrleitung 49
Bügelbetrieb 49
Streckenisolatoren 49
Nachspannvorrichtung 49
Isolation der Fahrleitung . . 49
Diabolo-Isolatoren 50
Elektrische Lokomotive . . . 50
Kraftübertragung zwischen Motor und Treibachse . . . 50
Direkter Antrieb 51
Kraftübertragung mittels Zahnradvorgelege 51
Übertragungsform durch Kurbelantrieb ohne Blindwelle 52
Kraftübertragung durch Kurbelantrieb mit Blindwelle 52
Kombinierter Zahnrad- und Mitnehmer-Kurbelantrieb . 54
Elektrische Vollbahnlokomotive 55
Schnellzuglokomotive 55
Güterzuglokomotive 55
Rangierlokomotive 55
Einphasen-Reihenschluß-Kommutatormotoren 55
Beleuchtung der Lokomotive 56
Scherenstromabnehmer . . . 56
Schaltung 57
Spannungsteiler 57
Druckluftfahrtwender 58

Die Schiffe und ihre Maschinenanlagen . . . . . Seite 59—174

A. Die Schiffe. Von Professor Walter Laas (Charlottenburg) . Seite 59—113

	Seite
Einleitung	59
Gliederung des Stoffes	59
Die Schiffstypen	59
Segelschiffe	59, 60
Takelung	61
Schonertakelung	61
Rahsegel	61
Brassenwinden	62
Rahenfallwinden	62
Anwendung von Hilfsmotoren	62
Segelsport	63
Frachtdampfer	63
Maschinenanlage	63
Frachtreederei	65
Ladeeinrichtungen	66
Leichter (längsseitliegende Kähne)	66
Frachtschiffe ohne Ladeeinrichtung	66
Laderäume	67
Erzdampfer	69
Öldampfer	69
Personenbeförderung über See	69
Auswandererschiffe	69
Reichspostdampfer	70
Schnelldampfer	71
Luxusdampfer	73
Fischereifahrzeuge	74
Großmotorschiffe	77
Sonderschiffe	79
Küstenfahrer	80
Fähren	80
Dampfer zum Legen von Seekabeln	80
Bagger	80
Schulschiffe	80
Feuerschiffe	80
Flußschiffe	80
Rad- und Schraubendampfer	80
Sport- und Vergnügungsboote	81
Kriegsschiffe	81
Betrieb und Sicherheit der Seeschiffe	82
Ruder	82
Bugruder	82
Rudermaschinen	83
Reservesteuerapparat	83
Anker	83
Pumpenanlage	83
Sicherheitsanlagen	84
Schotte	84
Hydraulische Schiebertüren	86
Hilfsboote	86
Aufhängung der Boote in Drehdavits	87
Klappdavits	87
Entwurf eines Schiffes	89
Rechnungen und Versuche	89
Gewicht	90
Trimlage	90
Verteilung der Gewichte	90
Steuerlastigkeit	91
Stabilität	91
Krängungsversuch	91
Metazentrische Höhe	92
Schwingungsperiode	93
Abhängigkeit der Stabilität vom Freibord	93
Festigkeit	94
Ziele der Schiffsbauwissenschaft	95
Schleppversuchsanstalten	96
Konstruktion des Schiffes	96
Gesetze und Vorschriften	97
Kassifikationsgesellschaften	97
Vermessungsvorschriften	98
Die Werften und ihre Einrichtungen	101
Materialbeschaffung	101
Bau des Schiffskörpers	102
Schnürboden	102
Bearbeitung der Platten der Kimmrundung	102
Transport der Bauteile	103
Hellinge	103
Vorhelling	103
Transportmittel auf der Helling	103
Krananlagen	103
Hydraulische Bügelnieter	105
Stapellauf	105
Stopper zum Halten des Schiffes	107
Bau von Schiffen im Dock	108
Ausrüstung am Kai	109
Uferkran	110
Schwimmkran	111
Docks	111

B. Die Schiffsmaschinen. Von Professor Paul Krainer (Charlottenburg) . . . . . Seite 113—174

	Seite
Allgemeines	113
Entwicklung des Schiffsmaschinenbaues	113
Raum und Gewicht	115
Wirtschaftlichkeit (Anlage-, Betriebs- und Unterhaltungskosten)	116
Ökonomische Geschwindigkeit	117
Aktionsradius des Schiffes	117
Konstruktion der Schiffsmaschine in bezug auf Betriebssicherheit	118
Manövrierfähigkeit einer Schiffsmaschine	118
Schraubenpropeller	120
Balanciermaschine	120
Räderschiffsmaschinen	120
Niederdruckmaschinen	120
Zwei- und Dreifach-Expansionsmaschinen	122
Kofferkessel	123
Zylinderkessel	123
Lokomotivkessel	124
Wasserrohrkessel	124
Marinekessel	126
Unterbringung des Brennstoffs	127
Ölfeuerung	127, 129
Wasserrohrkessel mit gemischter Feuerung	127
Ölmotoren	128
Schiffsvibrationen	129
Kolbenmaschinen	132
Die Schiffs-Dampfturbine	133
Curtis-, Parsons- und De Laval-Turbine	134
Rückwärtsturbine	134
Kavitationen (Hohlräume am Propeller)	137
Hauptvorteile der Turbine gegenüber der Kolbenmaschine	137
Aufbau der Turbinen	139
Marschturbinen	139
Ventilsteuerungen	142
Zwischengetriebe	143
Transformatoren	144
Die Schiffsgasmaschine	145
Wirtschaftlichkeit	145

	Seite
Herstellungskosten	145
Manövrierfähigkeit	146
Umsteuerproblem	146
Umsteuerschrauben	146
Wendegetriebe	146
Betriebssicherheit	146
Gewichtsfrage des Motors	147
Brennstoffe	148
Schiffsdieselmotoren	149
Motortypen	153
Hilfsmotoren für Segelschiffe	154
Der elektrische Schiffsantrieb	156
Akkumulatoren	156
Zentralstation	156
Die Propeller	156
Schaufelräder	156
Schraubenpropeller (Schiffsschraube)	158
Reaktionspropeller	159
Turbinenpropeller	160
Der Bau und Betrieb der Schiffsmaschinen	160
Kurbelwelle	161
Turbinentrommel	161
Versuchsfelder	162
Wasserbremsen	163
Indikatoren	163
Probefahrten	165
Progressivfahrten	165
Sturmfahrten	165
Rationelle Schmierung	167
Mechanische Rostbeschickung	168
Die Hilfsmaschinen	169
Rudermaschine	169
Anker- und Verholspille	169
Kranschwenkwerke und Bootsheißmaschinen	170
Kohlenwinden	170
Kühlmaschinen	170
Elektrische Anlage	170
Umsteuermaschinen	170
Drehmaschine	171
Aschwinden und Ascheinjektoren	171
Oberflächenkondensatoren	172
Kühlwasserpumpe	172
Luftpumpe	172
Naß- und Trockenpumpen	172
Speisepumpen	173
Schlußwort	173

Kraftwagen. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Riedler (Charlottenburg) Seite 175—214

	Seite
Kraftwagenlauf	176
Stufenweise Federung	176
Federnde Bereifung	177
Ungefederte Wagen	178
Vollgummireifen	178
Luftgummireifen	178
Wagenfedern	179
Überschwingungen	179
Zusatzfedern	180
Dämpfer	180
Wagenlenkung	180
Vorderradlenkung	180
Stabilität der Lenkung	180
Schränkung der Lenkräder	181
Schleudern des Wagens	181
Fliehkraft	181
Gleitschutzreifen	181
Kraftwagenbetrieb	182
Hinterradantrieb	182
Kraftübertragung durch Kette oder Welle	182
Kettentrieb	182
Wellentrieb	182
Differenzial	183
Universalgelenke	184
Kraftwagenmotor	185
Elektromotoren	185
Dampfmotoren	185
Verbrennungsmotoren	185
Andrehvorrichtung	186
Wechselgetriebe	186
Ladung	187
Zündung	187
Kühlung	187
Schmierung	188
Kraftwagenfahrt	188
Steuerung der Motoren	188
Handsteuerung	188
Selbsttätige Motorsteuerung	189
Ventile	189
Ventillose Schiebermotoren	189
Geräuschlosigkeit des Wagenlaufs	189
Ankurbeln des Motors	189
Kupplung	190
Veränderliche Geschwindigkeitsübersetzung	190
Handhabung der Schaltung	190
Bremsen	191
Handbremse	191
Getriebebremse	191
Kompressorbremse	191
Bergstütze	191
Kraftwagenart	193
Lastkraftwagen	193
Sportwagen	194
Wagen für Kriegszwecke	195
Bereifung	196
Kraftwagenwertung	197
Kraftwagenprüfstände	200
Fahrdiagramme	200
Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit	201
Probefahrten	203
Kraftwagenbau	203
Wirtschaftliche Entwicklung	203
Normalisierung	209
Genauigkeit	210
Bedeutung des Automobilismus	213

Luftfahrt. Von Major z. D. Prof. Dr. August von Parseval (Charlottenburg) . . . . . Seite 215—308

	Seite
Über den Luftwiderstand	215
Versuchsmethoden	215
Windtunnel	217
Form- oder Verdrängungswiderstand	222
Reibungswiderstand	222
Schleppversuche auf geradliniger Bahn	224
Die Mechanik des Vogelflugs	224
Ruderflug	224
Gleit- und Schwebeflug	228
Die Luftschraube	231
Axialkraft	231
Schraubenprofile	233
Besegelung der Schraube	233
Schnelläufer	234
Herstellung der Holzschrauben	235
Parsevalsche Schraube	235
Axialschub	236
Motoren	238
Benzinmotoren	238
Daimlermotor	240

Seite

Gnommotor 240
Umlaufmotoren 240
Führermotor 241
Renaultmotor 241
Traggase 242
Wasserstoff 242
Herstellung des Wasserstoffs in der Technik 242
Transport des Wasserstoffs . 244
Leuchtgas 245
Bestimmung des spezifischen Gewichts von Ballongasen 245
Gaswagen 246
Der Kugelballon 246
Prinzip des Kugelballons . . 247
Traggas (erhitzte Luft, Wasserstoff, Leuchtgas) . 247
Ballonhülle 249
Füllansatz (Appendix) 249
Dichtungsmittel 249
Festigkeitsprüfung der Stoffe 250
Ballonkörbe 251
Ballonventile 251
Reißvorrichtung 251
Messung des Luftdrucks . . 251
Windmesser 252
Drachen, Fesselballon, Fallschirm 253
Drachenballon 255
Fallschirm 256
Bau der lenkbaren Luftschiffe 257
Ballonkörper 257
Ventile 259
Biegungs- und Druckfestigkeit 260

Seite

Material für Luftfahrzeuge . 262
Seitensteuerung 263
Höhensteuerung 263
Anbringung der Schraube . 263
Entwicklung der lenkbaren Luftschiffe . . . 264
Frankreich 264
Deutschland 267
Italien, Belgien, England, Amerika 273
Rußland und Österreich . . 275
Luftschiffhallen 276
Bau der Flugzeuge . . . 276
Tragkraft 276
Theoretisches 277
Schwingenflieger 277
Radflieger 277
Schraubenflieger 278
Aeroplan (Flugdrachen) . . . 278
Tragfläche 279
Schraube 279
Höhensteuer 281
Stabilität 284
Quersteuerung 284
Seitensteuer 285
Universalsteuerorgan 285
Fahrgestell 286
Öl- und Luftbremsen 286
Anordnung der Schraube . . 288
Motor 288
Entwicklung der Flugzeuge 289
Zweidecker 290
Eindecker 292
Wasserflugzeuge 294
Fahrtechnik 295
Freiballon 295

Seite

Füllung 295
Auffahrt 295
Einflüsse der Temperatur . 296
Ballastgeben 297
Gefahren beim Gewitter . . 297
Freiwillige Landung 297
Aufstieg in große Höhen . . 298
Orientierung 298
Lenkbare Luftfahrzeuge . . . 298
Seitliche Abtrift 299
Führung eines großen Luftschiffes 301
Wahl der Geschwindigkeit . 301
Orientierung 301
Flugzeuge 302
An- oder Auslauf 302
Orientierung 302
Die praktischen Anwendungen der Luftfahrt 303
Sport, Wettfahrten, Zielfahrten 303
Lenkballons für Vergnügungsfahrten 303
Lenkballons als Träger von Reklameschildern 303
Weit-, Hoch-, Dauer- und Überlandflüge 303
Bedeutung der Luftfahrt für militärischen Erkundungsdienst 304
Verwendung der Ballons zur Erforschung der Atmosphäre 305
Photographie aus dem Luftschiff 306

Post, Telegraphie und Fernsprechwesen. Von Richard Kuhlmann (Berlin-Friedenau) . . . . . Seite 309—362

Seite

Bedeutung des Nachrichtendienstes 309
Der technische Postdienst 309
Postbeförderungsdienst . . . 309
Einsammelung und Annahme 309
Freimarken 309
Frankostempelmaschinen . . 310
Frankiermaschinen 310
Wertzeichenautomaten 311
Briefkasten 311
Selbstabfertiger für Einschreibbriefe 311
Abfertigung 311
Handstempel 312
Stempelmaschinen 312

Seite

Briefbeutel und Beutelschüttelwerke 312
Fortschaffung der Ladungsgegenstände zum Bestimmungsort 312
Bahnpostwagen 313
Rohrpost 313
Postbeförderung mit der Schiffahrt 314
Entkartung am Bestimmungsort 314
Aushändigung an den Empfänger (Schließfächer) . . 315
Bestellung durch Fußboten 315
Hausbriefkasten 315
Geldvermittelungsdienst . . 315
Scheckdienst 315

Seite

Annahme von Postanweisungen 315
Numerierstempel 315
Postanweisungsstempelapparate 316
Vorkehrungen zur schnellen Bearbeitung der Eingänge auf den Scheckämtern . . 316
Nebendienste der Post . . . 316
Weltpostverein 316
Telegraphie mit Leitung 317
Oberirdische Telegraphenleitungen 317
Unterirdische Telegraphenlinien 317
Die gewöhnlichen Telegraphenapparate 318

Seite

Morseapparat, Klopfer und Hughesapparat 318
Mehrfachtelegraphie 318
Gegensprechen (Duplextelegraphie) 318
Differentialschaltung 318
Brückenschaltung 319
Doppelsprechen (Diplextelegraphie) 319
Doppelgegensprechen (Quadruplextelegraphie) 319
Mehrfachtypendrucker 319
Maschinentelegraphen 320
Schnelltelegraph 320
Tastenlocher 321
Empfänger 321
Drucktelegraphen 323
Ferndrucker 323
Telegrammschreibmaschine . 323
Börsendrucker 323
Fernschreiber 323
Fernphotographischer Apparat 324
Telautographen 325
Lichtrelais 325
Fernsehen 326
Unterseetelegraphie 326
Unterseekabel 326
Lebensdauer der Seekabel . 326
Kabelschiffe 326
Sprechgeschwindigkeit 326
Trommelkabelrelais 327
Betrieb auf langen Unterseekabeln 327
Sprechgalvanometer 327
Heberschreiber 327
Undulator (Zickzackschreiber) 328
Kapillartelegraph 328
Magnifier (Heberschreiber) . 328
Welttelegraphenvereine . . . 330
Telegraphie ohne Leitung (drahtlose Telegraphie) 330
Einführung 330
Internationaler Funkentelegraphenvertrag 331
Sendestation 331
Funkenmethode 331
Stoßerregung 332
Telefunkensystem 332
Reihenfunkenstrecken 332
Detektoren 332
Duddellkreis 333
Lichtbogenmethode 333
Luftantennen 334
Schirmantenne 335
Gegenantenne 335
Erdantenne 335

Seite

Empfangsstation 336
Aperiodischer Detektorkreis 336
Zwischenkreis 336
Wellenanzeiger 336
Fritter 336
Magnetdetektor 336
Integrierende oder unilaterale Detektoren 337
Elektrolytische Wellenanzeiger 337
Kontaktdetektoren (Thermodetektoren) 337
Ventilröhrendetektor 337
Tikker 338
Fernhörer 338
Fernhörermembran 338
Resonanz-Tonverstärker . . 338
Tonumformer 338
Tonfilter 338
Deprezininstrument (Fadengalvanometer) 338
Reichweite 339
Land-Großstationen 339
Schiffsstationen 339
Militärische Feldstationen . . 339
Anbringung der Antennen in Luftschiffen und Freiballons 340
Hängeantenne bei Flugzeugen 340
Gerichtete drahtlose Telegraphie 340
Richtantenne 340
Radiogonometer 341
Telefunkenkompaß 341
Abfangen drahtlos gegebener Zeichen 341
Drahtlose Maschinen- und Mehrfachtelegraphie 341
Bedeutung der drahtlosen Telegraphie im Verkehrsleben 341
Küstenstationen 341
Sturmwarnungsdienst 342
Stationen für Abgabe von Wetterberichten und Zeitsignalen 342
Bordstationen 342
Militärische Bedeutung der drahtlosen Telegraphie . . 342
Fernsprechen m. Leitung 343
Fernsprecher 343
Sender (Mikrophon) 344
Kontaktmikrophon 344
Starkstrommikrophon 344
Fernhörer 344
Ortsvermittlungsstelle 345
Fernämter 345

Seite

Nebenstellen (Sternschaltung) 346
Zwischenstellenumschalter . 346
Kleingruppensystem 347
Selbsttätige Gruppenumschalter 347
Reihenschaltung 347
Rufverfahren mit Wechselströmen 347
Partnerleitungssystem 347
Fernsprech-Reihenanlagen . 348
Handämter 348
Signale durch Glühlampen . 348
Anrufbetrieb 349
Dienstleitungsbetrieb 349
Tandem-Dienstleitungsbetrieb 350
Verteilersystem 351
Automatische Ämter (Selbstanschlußämter) 352
Teilnehmerapparate 352
Leitungswähler 353
Steuerschalter 353
Vorwähler (Anrufverteiler) . 353
Gruppenwähler 353
Unterzentralen 354
Vorteile und Nachteile des automatischen Betriebs . . 354
Das halbautomatische Amt . 355
Rentabilität 355
Fernleitungen 356
Gleichzeitige Abwicklung von Gesprächen und Telegrammen auf einer Leitung (Simultanbetrieb) 356
Mehrfachfernsprechen 356
Kombinationsschaltung . . . 356
Mehrfachzwillingskabel . . . 357
Fernsprechstromkreise . . . 357
Steigerung der Reichweite . 357
Dämpfungskonstante 358
Dämpfungsexponenten 358
Dämpfung der Leitung durch künstliche Vergrößerung der Selbstinduktion (stetige Belastung) 359
Selbstinduktion (stellenweise Belastung 359
Pupinisierte Leitungen . . . 359
Selbstinduktion bei den Fernsprechseekabeln 360
Fernsprechen ohne Leitung (drahtlose Telephonie) 360
Lichttelephonie 360
Reihenlichtbogen 361
Flüssigkeitsmikrophon . . . 362
Reichweiten 362

Graphik. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Miethe (Charlottenburg) Seite 363—396

	Seite
Entwicklung der Graphik	363
Alte Illustrationstechnik	363
Bedeutung der Photographie	364
Vergleich mit dem Auge	364
Schwellenwert	364
Fernrohr	365
Verbindung der photographischen Platte m. d. Fernrohre	366
Photographie im Ultraviolett	368
Technische Mittel der Photographie	369
Trockenplattenprozeß	369
Bromsilbergelatineemulsion	369
Reifungsvorgang	369
Farbenempfindlichkeit	370
Sensibilisierung	370
Problem der Farbenphotographie	371
Physikalische Methoden der Farbenphotographie	371
Lippmannverfahren	371
Ausbleichverfahren	371
Physiologische Methoden der Farbenphotographie	371
Dreifarbenphotographie	372
Farbraster	372
Herstellung photographischer Negative mit Hilfe der Trockenplatten	372
Fixierung	372
Positivprozesse	372
Entwicklungspapiere	372
Auskopierverfahren	373
Objektive	373
Astigmatismus	374
Amastigmate	374
Drucktechnik	375
Hochdruck (Holzschnitt)	375
Tiefdruck (Kupferstich)	375
Flachdruckverfahren (Steindruck oder Lithographie	375, 376
Strichhochdruckklischees	376
Reproduktion eines Halbtonoriginals	378
Autotypie	378
Aufbrechen der Halbtöne mittels Raster	378
Gravierung	379
Einbrennen	382
Kunstdruckpapiere	382
Kunstdruckfarben	382
Abformung autotypischer Klischees auf galvanoplastischem Wege	383
Zurichtung	383
Kupfertiefdruck	384
Photogalvanographie	384
Pigmentdruck	384
Anastatischer Druck	384
Heliogravüreverfahren	385
Rakel	386
Schnelltiefdruck	388
Photomechanischer Flachdruck	389
Lichtdruck	389
Lichtdrucköfen	390
Kopieren mit Hilfe eines Photometers	390
Farbauftragwalzen	390
Druckoperation	391
Feuchtung	391
Lichtdruckschnellpresse	391
Lichtdruckansichtspostkarten	392
Reproduktion farb. Originale	392
Farbenholzschnitt	392
Dreifarbendruck	393
Dreifarbenbuchdruck	396
Dreifarbenlichtdruck	396

Die technischen Maßnahmen der Großfabrikation. Von Direktor E. Huhn (Charlottenburg) . . . . . Seite 397—447

	Seite
Die Einführung des Schnellschnittstahls	397
Leistungsfähigkeit des Schnellschnittstahls	398
Der Einfluß des Schnellschnittstahls auf den Werkzeugmaschinenbau	398
Schnittgeschwindigkeiten	398
Energieverbrauch	399
Hitzebeständigkeit des Schnellschnittstahls	400
Vergrößerung der Spanstärke	400
Verspanungen auf einer Drehbank	402
Einführung hochwertiger Materialien	403
Die Aufgaben des Konstrukteurs seit Beginn des XX. Jahrhunderts	403
Verhütung von Unfällen	403
Schnittbewegung	404
Vorschubbewegung	404
Vorschubgeschwindigkeit	405
Umlaufzahlen	405
Stufenscheiben	407
Riemenumleger	407
Riemengabeln	407
Rädervorgelege	407
Geschwindigkeitswechsel durch Reibscheiben	408
Deckenvorgelege	408
Abstechmaschine	409
Reibscheibengetriebe	409
Vorschubmechanismus der Rundfräsmaschine	409
Krafteinteilung und Leistung	410
Die modernen Antriebe	411
Stufenrädergetriebe	411
Getriebe mit Zahnkranzkuppelung	412
Getriebe mit Achsenkuppelung	412
Getriebe mit Zahnkranz- und Achsenkuppelung	414
Elektrische Antriebe	416
Einscheibenantriebe	416
Antrieb durch Elektromotoren	416
Elektrischer Einzelantrieb	416
Zwischenmechanismen	417
Elektrische Antriebe	418
Schwinge mit Räderkasten	418
Prüfung der Werkzeugmaschinen auf ihre Leistung	419
Versuchswerkstätten	419
Zerspanungsversuche	420
Versuche zur Ausprobierung des Räderkastens	420
Prüfung der Werkzeugmaschinen auf ihre Genauigkeit	422
Die Werkzeugmaschinen als zeitsparende Maschinen	423
Bohrmaschinen	425
Zug- und Leitspindeldrehbank	425
Schruppdrehbank	426
Hinterdrehbank	426
Drehbank normaler Bauart	427
Norton-(Rund-)schleifmaschine	427

Seite
Wirkungsweise der Schleifscheibe 428
Lünetten 428
Leistungsfähigkeit der Schleifscheibe 428
Revolverdrehbank 429
Revolverköpfe 429
Support 429
Halbautomatische Revolverdrehbank 429
Automatische Revolverdrehbank 430
Rundfräsmaschine 430
Spezial-Gewindefräsmaschine 430
Hobelmaschine 431
Universalfräsmaschine 432
Automatische Räder- und Kegelräderfräsmaschine . 433
Schwere Drehbank 434
Karusselldrehbank 435
Langfräsmaschine 435
Die Werkzeugmaschine i. d. Massenfabrikation 436
Prinzip der Arbeitsteilung . 436
Massenfabrikation und Arbeitsteilung 437
Normalisierung der Maschinenteile 438
Massenerzeugung auf Werkzeugmaschinen 441
Fertigstellung einer Schraube 443
Herstellung einer Kammer in der Gewehrfabrikation 443
Räderplatte zum Support einer Drehbank 444
Grenzlehren und die Fabrikation austauschbarer Teile 444
Meßlineal 445
Mikrometerschraube 445
Laufende Passung 445
Festsitzende Passung 445
Grenz- oder Toleranzlehren 445
Rachenlehren 445
Kaliberlehren 445
Schiebende Passung (Schiebesitz 447
Preßsitz 447

Der Großbetrieb und seine Organisation. Von Direktor E. Huhn (Charlottenburg) . . . . . Seite 448—467

Seite
Bau und Anlage von Fabriken 449
Lage der Gebäude 450
Verwaltung 451
Ein- und Verkauf, Buchhaltung 452
Propaganda, Offertbureau, Verkaufstätigkeit 452
Verkaufsgenossenschaften . 453
Syndikate 453
Technische Bureaus und Betrieb 453
Betriebsleiter, Meister, Revisoren 454
Probierstände 455
Lohnsysteme, Kalkulation, Abrechnung 455
Zeitlohn, Stück- oder Akkordlohn, Prämiensystem . . . 455
Kalkulationsbureaus 455
Unkostenfeststellung und Statistik 456
Transportmittel, Fabrikationseinrichtung, Läger 456
Schmalspurgleise zum Transport der Halbfabrikate . . 457
Laufkräne 457
Handkräne 457
Laufkatzen 457
Fahrstühle 457
Werkzeuglager 458
Disposition, Liefertermine 458
Laboratorien (chemische und physikalische) . . 460, 461
Zerreißmaschine 461
Biegeprobe 461
Mikroskopische Untersuchungen 462
Kerbschlagprobe 462
Lehrlingswesen 462
Arbeiterfürsorge und Wohlfahrtseinrichtungen 464

Die wirtschaftliche Ausgestaltung der Großfabrikation. Von Prof. Dr. Carl Mollwo (Berlin), Privatdozent der Staatswissenschaften und Geschäftsführer des Zentralverbandes des Deutschen Bank- und Bankiergewerbes . Seite 468—499

Seite
Einfluß der Technik auf den Arbeiter und die soziale Frage 468
Die soziale Frage als Arbeiterfrage 471
Der Arbeiter als Individuum und als Massenerscheinung 471
Der Arbeitsvertrag 473
Der Unterehmer und die Unternehmung 476
Die Formen der technischen Großorganisation 478
Zwecke der Erwerbsgesellschaften 480
Personalgesellschaften 481
Offene Handelsgesellschaft 481
Zwecke der offenen Handelsgesellschaft 482
Umwandlung einer offenen Handelsgesellschaft in eine Kommanditgesellschaft . . 483
Kommanditgesellschaft . . . 484
Geranten oder Komplementäre 484
Kommanditisten 484
Haftung 484
Stille Gesellschaft 485
Die Kapitalgesellschaften 485
Aktiengesellschaft 485
Generalversammlung 491
Aufsichtsrat 492
Kommanditgesellschaft auf Aktien 493
Gesellschaft mit beschränkter Haftung 495
Kartelle, Syndikate, Trusts 495
Technik und Kapital . . . 496

EINSCHALTBILDER

Überführung der Hochbahn zu Berlin über die elektrische Vorortbahn und Fernbahn
(zu Doeppner, Dampf- und Elektrobahnen) ..... Titelbild

Doppelschraubendampfer im Bau (Blohm & Voß, Hamburg)
(zu Laas und Krainer, Die Schiffe und ihre Maschinenanlagen) ..... zw. Seite 80/81

Schiff in den Spanten (Schichau-Werft, Danzig)
(zu Laas und Krainer, Die Schiffe und ihre Maschinenanlagen) ..... zw. Seite 144/145

Automobilprüfstand im Kraftwagenlaboratorium der Kgl. Technischen Hochschule Berlin
(zu Riedler, Kraftwagen) ..... zw. Seite 208/209

Luftschiffhalle des Berliner Vereins für Luftschiffahrt
(zu von Parseval, Luftfahrt) ..... zw. Seite 288/289

Das Haupttelegraphenamt zu Berlin
(zu Kuhlmann, Post, Telegraphie und Fernsprechwesen) ..... zw. Seite 336/337

Modernes amerikanisches Turmteleskop auf dem Mount Wilson
(zu A. Miethe, Graphik) ..... zw. Seite 384/385

ABSCHNITT IV

DAS VERKEHRSWESEN

DAMPF- UND ELEKTROBAHNEN

VON A. DOEPPNER

1. DAMPFLOKOMOTIVEN FÜR VERSCHIEDENE ZWECKE

Der Beginn des 20. Jahrhunderts hat zwar der Dampflokomotive einen scharfen Konkurrenten in der elektrischen Lokomotive gebracht, jedoch haben die Konstrukteure der Dampflokomotiven den Wettkampf aufgenommen und als Folge dieses Wettkampfes Verbesserungen erzielt, die in erster Linie darauf ausgingen, die Wirtschaftlichkeit der Dampflokomotive zu erhöhen, die bei den frühesten Ausführungen allerdings noch recht viel zu wünschen übrigließ. Die modernen Ausführungen von Dampflokomotiven weisen heute in der Tat Ergebnisse in bezug auf die Wirtschaftlichkeit und auf die Ausnutzung des Brennmaterials auf, die man bis vor kurzem kaum für erreichbar gehalten hat.

Abbildung 1.

Ohne Frage wird sich die elektrische Vollbahnlokomotive gewisse Gebiete bereits in naheliegender Zeit erobern und hier vielleicht die Dampflokomotive verdrängen, das heißt überall da, wo ihre Vorteile die Nachteile überwiegen. Es wird aber einstweilen noch immer ein großes Verwendungsgebiet übrigbleiben, in dem die wirtschaftlich arbeitende Dampflokomotive der elektrischen Lokomotive überlegen ist. Auch findet die Dampflokomotive einerseits für Vollbahnzwecke mit der fortschreitenden Kultivierung fremder Länder immer noch neue Absatzgebiete, und anderseits verschafft sie sich immer mehr Eingang in Verwendungsgebiete, die bisher Hand- oder tierischen Betrieb anwandten.

EINTEILUNG UND BEZEICHNUNG. Mit der überaus schnellen Entwicklung des Eisenbahnwesens überhaupt ist eine ebenso umfangreiche Entwicklung verschiedenartiger Lokomotivtypen verbunden, die dem jeweiligen hauptsächlichen Verwendungszweck angepaßt sein müssen, wenn volle wirtschaftliche Erfolge erzielt werden sollen. Man unterscheidet daher:

Dampflokomotiven für Vollbahnen,
„ „ Neben- und Kleinbahnen aller Art,
„ „ Bergbahnen mit Zahnstangenschienen,
„ „ Transportbahnen und industrielle Zwecke.

Bei den Vollbahnlokomotiven werden wiederum unterschieden: Lokomotiven für Schnellzüge, für Personenzüge, für gemischte Züge, für Güterzüge; bei den Neben- und Kleinbahnlokomotiven werden Unterscheidungen gemacht für leichte Personenzüge, Güterzüge, kurvenbewegliche Lokomotiven, Straßenbahnlokomotiven; bei den Zahnradlokomotiven unterscheidet man solche für reinen Zahnstangenbetrieb und für gemischten Betrieb, das ist für eine Bahnstrecke, bei welcher Zahnstange und Adhäsionsschiene abwechseln; bei den Transport- und Industriebahnen unterscheidet man leichte Lokomotiven für das Befördern von Erdzügen oder sonstigen Materialien, Rangierlokomotiven für industrielle Zwecke, Kranlokomotiven und feuerlose Lokomotiven.

Achsen-Anordnung.	Deutsche Bezeichnung alte.	Deutsche Bezeichnung neue.	Englische und amerikanische Bezeichnung	Amerikanische Sonder-Bezeichnung.
O o ▷	½ gek.	1 A	2 - 2 - 0	
o O ▷	½ „	A 1	0 - 2 - 2	
o O o ▷	½ „	1 A 1	2 - 2 - 2	
O o o ▷	½ „	2 A	4 - 2 - 0	
o o O ▷	½ „	A 2	0 - 2 - 4	
OO ▷	⅔ „	B	0 - 4 - 0	
OO o ▷	⅔ „	1 B	2 - 4 - 0	
o OO ▷	⅔ „	B 1	4 - 2 - 0	
o OO o	⅔ „	1 B 1	2 - 4 - 2	
OO o o	¾ „	2 B	4 - 4 - 0	American
o OO o o	¾ „	2 B 1	4 - 4 - 2	Atlantic
o o OO	⅔ „	B 2	0 - 4 - 4	
o o OO o	⅔ „	1 B 2	2 - 4 - 4	
o o OO o o	¾ „	2 B 2	4 - 4 - 4	
OOO	⅓ „	C	0 - 6 - 0	
OOO o	¾ „	1 C	2 - 6 - 0	Mogul
o OOO	¾ „	C 1	0 - 6 - 2	
o OOO o	⅔ „	1 C 1	2 - 6 - 2	Prairie
OOO o o	⅔ „	2 C	4 - 6 - 0	Thenuheeler
o o OOO	⅔ „	C 2	0 - 6 - 4	
o OOO o o	⅔ „	2 C 1	4 - 6 - 2	Pacific
o o OOO o	⅔ „	1 C 2	2 - 6 - 4	
o o OOO o o	¾ „	2 C 2	4 - 6 - 4	
OOOO	⅓ „	D	0 - 8 - 0	
OOOO o	⅔ „	1 D	2 - 8 - 0	Compelubation
o OOOO	⅔ „	D 1	0 - 8 - 2	
o OOOO o	⅔ „	1 D 1	2 - 8 - 2	Atlantic
OOOO o o	⅔ „	2 D	4 - 8 - 0	Atlantoban
o o OOO O	⅔ „	D 2	0 - 8 - 4	
o OOOO o o	¾ „	2 D 1	4 - 8 - 2	
o o OOOO o	¾ „	1 D 2	2 - 8 - 4	
o o OOOO o o	¾ „	2 D 2	4 - 8 - 4	
OOOO	⅔ „	E	0 - 10 - 0	Decapod
OOOO o	⅔ „	1 E	2 - 10 - 0	
o OOOO	⅔ „	E 1	0 - 10 - 2	
o OOOO o	⅔ „	1 E 1	2 - 10 - 2	
OOOO o o	⅔ „	2 E	4 - 10 - 0	
o o OOOO	⅔ „	E 2	0 - 10 - 4	
o OOOO o o	⅔ „	2 E 1	4 - 10 - 2	
o o OOOO o	⅔ „	1 E 2	2 - 10 - 4	
o o OOOO o o	⅔ „	2 E 2	4 - 10 - 4	
OOOO	⅔ „	F	0 - 12 - 0	
OOOO o	⅔ „	1 F	2 - 12 - 0	
o OOOO	⅔ „	F 1	0 - 12 - 2	
o OOOO o	⅔ „	1 F 1	2 - 12 - 2	
OO + OO	½ + ½ gek.	B + B	0-4-0 + 0-4-0	
OO + OO o	½ + ½ „	1 B + B	2-4-0 + 0-4-0	
o OO + OO o	½ + ½ „	1 B + B 1	2-4-0 + 0-4-2	
OOO + OOO	⅔ + ⅔ „	C + C	0-6-0 + 0-6-0	
OOO + O OO o	¾ + ¾ „	1 C + C	2-6-0 + 0-6-0	
o OOO+O OO o	¾ + ¾ „	1 C + C 1	2-6-0 + 0-6-2	
OOO+OOO	¾ + ¾ „	D + D	0-8-0 + 0-8-0	
OOO + OO	⅔ + ⅔ „	B + C	0-4-0 + 0-6-0	
o OOOO+OOOO o	⅘ + ⅘ „	1 D + D 1	2-8-0 + 0-8-2	

Die weitere Unterscheidung wird durch die äußeren Verschiedenheiten der Bauarten gegeben, und zwar hat es sich in erster Linie eingebürgert, die Lokomotivtype durch die Gesamtzahl der Achsen und die Anzahl der gekuppelten Achsen zu bezeichnen. — In Deutschland war es bis vor kurzem gebräuchlich, die Anzahl der gekuppelten Achsen in den Zähler, die Gesamtzahl aller Achsen einer Lokomotive in den Nenner eines Bruches zu setzen, so daß also z. B. „4/5 gekuppelt" heißt, daß die Lokomotive 5 Achsen besitzt, von denen 4 gekuppelt sind; oder „4/4 gekuppelt" heißt: die Lokomotive hat 4 Achsen, die sämtlich gekuppelt sind.

Da jedoch diese Bezeichnung nicht genau die Lage der einzelnen Achsen zueinander angibt, also bei dem ersten Beispiel nicht hervorgeht, ob sich die fünfte, ungekuppelte Achse — auch Lauf- oder Tragachse genannt — am vorderen oder hinteren Ende der Lokomotive befindet, ist seit Anfang 1910 eine andere Bezeichnungsweise gewählt worden, die im Bereiche aller dem „Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen" angehörenden Bahnbetriebe als offizielle Bezeichnung gilt und auch bereits von vielen ausländischen

Bahnverwaltungen adoptiert wurde. Diese Bezeichnungsweise geht aus vorstehender Tabelle hervor: die großen Buchstaben A, B, C, D, E bedeuten 1, 2, 3, 4, 5 gekuppelte Achsen, während die davor- oder dahinterstehenden arabischen Ziffern die Laufachsen bezeichnen. Also z. B.: 1 D bezeichnet eine Lokomotive mit 4 gekuppelten Achsen und 1 vorderen Tragachse; die größere Genauigkeit dieser Bezeichnung gegenüber der früheren ist ohne weiteres ersichtlich.

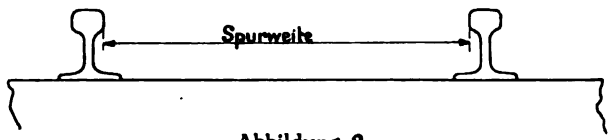


Abbildung 2.

Eine andere, besonders in England gebräuchliche und der deutschen an Deutlichkeit nicht nachstehende Bezeichnungsweise ist die folgende:

Die Engländer zählen nicht die Achsen, sondern die Räder der Lokomotiven; während also eine D-Lokomotive in Deutschland als vierfach gekuppelt angesprochen wird, spricht der Engländer von einer „eight coupled". Zur Bezeichnung der einzelnen Typen wird also die Anzahl der Räder herbeigezogen, z. B. 4—8—2 ist eine Lokomotive, welche vorn 4 Laufräder, darauf 8 Kuppelräder und am hinteren Ende 2 Laufräder besitzt; nach der deutschen Bezeichnung würde es sich hier um eine „4/7 gekuppelte" oder eine 2 D 1-Lokomotive handeln. Eine E-Lokomotive, also eine solche mit 5 gekuppelten Achsen, würde sich in englischer Bezeichnung darstellen als 0—10—0.

Noch anders bezeichnen die Nordamerikaner ihre Lokomotivbauarten. Sie deuten die Zahl der Achsen einer Lokomotive durch größere Kreise für die gekuppelten Räder und durch kleinere Kreise für die Laufräder an; also OOOO o◺ ist eine 4/5 gekuppelte bzw. eine 1 D bzw. eine 2—8—0-Lokomotive; das Dreieck vor der Laufachse deutet den bei den amerikanischen Bahnen üblichen Kuhfänger an, der sich naturgemäß stets vorn an der Lokomotive befindet und so auch die Lage der Laufachsen in bezug auf das vordere oder hintere Maschinenende festlegt. Außerdem aber haben die Amerikaner den gebräuchlichsten, am häufigsten bei ihnen vorkommenden Typen noch besondere Namen gegeben, die gleichfalls aus Tabelle 1 ersichtlich sind. Ohne Kenntnis dieser Namen, die recht willkürlich gegriffen sind und mit wenigen Ausnahmen in keinem sachlichen Zusammenhange mit der Lokomotivbauart stehen, sind gelegentliche lokomotivtechnische Berichte von „drüben" oft kaum verständlich.

SPURWEITE. Unter Dampflokomotiven versteht man ausnahmslos alle mit Dampf betriebenen Lokomotiven, welche sich auf Schienen fortbewegen.

Die in verhältnismäßig sehr geringer Verbreitung hier und da vorkommenden sogenannten „Straßenlokomotiven" (nicht zu verwechseln mit Straßenbahnlokomotiven), bewegen sich ohne Benutzung von Schienen auf der Landstraße vorwärts, haben jedoch weder in ihrer äußeren Bauart noch in der Ausbildung der Hauptelemente: Maschine, Kessel und Fahrzeug, etwas mit den „Dampflokomotiven" gemeinsam und scheiden daher bei dieser Betrachtung aus.

Als Spurweite gilt allgemein das Maß zwischen den Innenkanten der Schienenköpfe (Abbildung 2). Die gewöhnliche Normalspur beträgt 1435 mm oder 4 Fuß 8 1/2 Zoll engl. Dieses Maß ist hervorgegangen aus den alten Spurbahnen in England, wo man in der Breite der damals üblichen Straßenfuhrwerke, nämlich 5 Fuß engl., eiserne Schienen verlegte und durch Angießen eines Randes an diese die Wagen zwang, sich innerhalb der Spur zu bewegen. Als lichtes Maß zwischen den Schienen ergab sich dann das Maß von 4 Fuß 8 1/2 Zoll engl., das auch später beibehalten wurde, als man Schienen mit flachen Köpfen verwendete und die Ränder an die

Räder goß. — Dieses Maß ist dann auch als Normalspur von den meisten europäischen Bahnen beibehalten worden.

Eine Ausnahme bilden die spanischen Vollbahnlinien mit 5 Fuß 6 Zoll engl. = 1676 mm und die russischen Bahnen mit 5 Fuß engl. = 1525 mm. Die kleinen Differenzen bei den italienischen Bahnen mit 1445 mm und den französischen Bahnen mit 1440 mm sind unbedeutend, so daß auch diese letzteren Spurweiten als Normalspuren bezeichnet werden können. Neben diesen „vollspurigen" Bahnen haben sich Bahnen zweiter und dritter Ordnung entwickelt mit wesentlich geringeren Spurweiten. So gibt es in Deutschland offizielle Schmalspuren für Neben- und Kleinbahnen von 1000, 750 und 600 mm, in Österreich-Ungarn von 760 mm, in Italien von 950 mm; in englisch Südafrika von 1067 mm = 3 Fuß 6 Zoll engl. usw. In Südamerika, insbesondere Argentinien, Chile und Brasilien sind sehr ausgedehnte Bahnnetze mit 1000 mm Spurweite vorhanden, die ebenso wie in den deutschen Kolonien mit ebenfalls 1000 mm Spurweite trotz der schmalen Spurweite höchst beachtenswerte Zugleistungen bewältigen und mit außerordentlich leistungsfähigen Lokomotiven ausgerüstet sind; das gleiche gilt für das japanische Bahnnetz mit 1067 mm Spurweite, auf welchem Schnellzüge mit Geschwindigkeiten bis zu 90 km pro Stunde verkehren. Die Vollbahn ist also keineswegs an die Normalspur gebunden, und die Schmalspur bedeutet durchaus nicht ohne weiteres eine Bahn zweiter Ordnung oder geringerer Leistung.

Viel verworrener in bezug auf die Spurweite liegen die Verhältnisse aber bei den Transport- und Industriebahnen. Die Verschiedenheit in den Spurweiten bei diesen fast immer schmalspurigen Betrieben grenzt ebenso an das Lächerliche wie die verschiedenen Gründe, die für die Mannigfaltigkeit dieser Spurweiten angegeben werden. — Von 430 mm Spurweite aufwärts bis 1250 mm, oft nur in Unterschieden von wenigen Millimeter sind Dampflokomotiven verschiedenartiger Bauarten ausgeführt worden und in Betrieb, und das hier herrschende Durcheinander wird am deutlichsten durch die Tatsache gekennzeichnet, daß Schreiber dieses in seiner Praxis mit weit über 100 verschiedenen Spurweiten zu tun hatte.

LEISTUNGSFÄHIGKEIT DER DAMPFLOKOMOTIVE. Die Arbeit der Dampflokomotive setzt sich zusammen aus vier Arbeitsvorgängen: Verbrennung, Verdampfung, Dampfwirkung und Reibung der Triebräder auf den Schienen. Die Gesamtleistung der Lokomotive richtet sich nach dem jeweilig schwächsten dieser Arbeitsvorgänge, und deshalb wird diejenige Lokomotivbauart die wirtschaftlichste und dem jeweiligen Betriebe am besten angepaßte sein, bei welcher alle vier Arbeitsvorgänge gut miteinander übereinstimmen, also ein Übermaß des einzelnen Vorganges oder eine Minderleistung vermieden ist.

Die Zugkraft der Lokomotive findet ihre Grenze in der Reibung der Triebräder auf den Schienen, welche bei trockenen Schienen mit $^1/_6$ der Triebachslast angenommen werden kann, die jedoch bei nassen Schienen auf $^1/_7$, bei Straßenbahnen und ähnlichen Betrieben mit unreinen Schienen auf $^1/_8$ und darunter sinken kann. Amerikanische Lokomotiven werden oft mit $^1/_4$ ihrer Triebachslast beansprucht, jedoch ist eine so hohe Zugkraft nur in außergewöhnlich günstigen Fällen — trockenen Schienen — erreichbar und nicht als Durchschnittsleistung anzusehen.

Der Widerstand, welcher bei der Bewegung des Zuges von der Lokomotive überwunden werden muß, setzt sich aus einer Reihe von Faktoren zusammen: dem Laufwiderstande, der im wesentlichen aus der Reibung der Achsschenkel in den Achslagern, der rollenden Reibung der Räder auf den Schienen und dem vom Luftwider-

stande herrührenden Geschwindigkeitswiderstande besteht, dem Steigungswiderstande und dem Krümmungswiderstande.

Der Summe dieser Widerstände muß die am Zughaken ausgeübte Zugkraft der Lokomotive mindestens gleich sein.

Aus dieser erforderlichen Zugkraft, welche die Dampfmaschine entwickeln muß, und der begrenzten Reibung der Triebräder auf den Schienen ergibt sich dann zunächst die für die Fortbewegung des Zuges notwendige gesamte Triebachslast, die sich auf eine Anzahl von Triebrädern verteilt.

Diese Anzahl von Triebrädern wiederum wird bestimmt durch die Grenzen der Tragfähigkeit der Schienen, welche gegen früher auch wesentlich erhöht ist. — Während im allgemeinen bis vor einem Jahrzehnt etwa der Oberbau der normalspurigen Vollbahnen einen höchsten ruhenden Achsdruck von 14000 kg zuließ, ist dieser durch Verwendung schwererer Schienenprofile auf 15000 kg und in letzter Zeit bis auf 16000 kg und darüber gesteigert worden.

Amerikanische Bahnen gehen noch weit über diese Zahlen hinaus, und man trifft hier bei den modernen schweren Kolossen nicht selten Achsdrücke von 22000 kg und darüber an; allerdings kann bei diesen Belastungen die Besorgnis nicht unterdrückt werden, daß eine derartige Steigerung der Achsdrücke auch bei Wahl schwerster Schienen nur auf Kosten der Sicherheit des Betriebes gehen kann, da auch die Bettung der Schienen und die Beschaffenheit des Bodens, auf dem sie verlegt werden, eine nicht unwichtige Rolle spielen.

Bei Nebenbahnen und Transportbahnen sinken die zulässigen Achsdrücke entsprechend den zur Verwendung gelangenden leichteren Schienenprofilen herunter bis zu etwa 1500 kg, also bis auf $^1/_{10}$ der obigen Zahlen, auch hierin die große Mannigfaltigkeit der Lokomotivbauarten kennzeichnend. — —

Ergibt sich aus vorstehenden Erwägungen neben der erforderlichen Maschinenstärke die Anzahl der gekuppelten Achsen der Lokomotiven, so ist für die Bemessung der Kesselgröße die Forderung nach der gewünschten Geschwindigkeit maßgebend, die bei Ausnutzung der Maschinenleistung und des Reibungsgewichts erreicht werden kann.

Da die Anfachung des Kesselfeuers fast ausschließlich durch den aus dem Blasrohr ausströmenden Dampf nach seiner Arbeitsverrichtung in den Dampfzylindern erfolgt, so brennt das Feuer um so besser und mit um so größerer Wärmeentwicklung, je gleichmäßiger die Anfachung ist, das heißt also, je schwächer und gleichmäßiger die Dampfschläge sind und je schneller diese aufeinander folgen.

Eine ungleichmäßige Anfachung, die eine Folge von starken, in längeren Zwischenräumen aufeinanderfolgenden Dampfschlägen ist, verschlechtert die Verbrennung, denn es wird bald zuviel, bald zuwenig Luft angesaugt, und der Einfluß auf das Feuer ist naturgemäß ein recht ungünstiger. Bei rasch aufeinanderfolgenden, schwachen Dampfschlägen erfolgt jedoch naturgemäß eine gleichmäßigere Einwirkung auf das Feuer ohne Störung des chemischen Verbrennungsvorgangs. Da nun ferner starke und seltenere Dampfschläge durch wenige Kolbenhübe in der Zeiteinheit bzw. durch geringe Geschwindigkeiten und durch große Zylinderfüllungen entstehen, schwache und rasch aufeinanderfolgende Dampfschläge aber durch große Geschwindigkeiten, so ergibt sich zunächst die Folgerung, daß die Leistungsfähigkeit des Kessels bei zunehmenden Geschwindigkeiten steigt. Natürlich bewegt sich diese Steigerung der Leistungsfähigkeit des Kessels infolge der vermehrten Dampfschläge bei höheren Geschwindigkeiten nur innerhalb gewisser Grenzen, und zwar verhalten sich nach

v. Borries diese Werte so, daß bei Verdoppelung der Anzahl der Treibräderumdrehungen die Leistung des Kessels pro qm Heizfläche sich um etwa 40—50 % erhöht.

Da nun aber bei gegebener Zugkraft die erforderliche Gesamtleistung in P.S. nicht nur im gleichen Verhältnis der Geschwindigkeiten wächst, sondern auch den durch die größeren Umdrehungszahlen wachsenden Laufwiderständen Rechnung tragen muß, ergibt sich für große Geschwindigkeiten, also für Schnellzuglokomotiven, neben den durch die höchstzulässige Kolbengeschwindigkeit gebotenen größeren Treibrädern als Charakteristikum für Schnellzug- und Personenzuglokomotiven die Forderung eines besonders leistungsfähigen Kessels von genügend großer Heiz- und Rostfläche.

Bei Schnellzuglokomotiven stellt in der Regel die verlangte Leistung, bei Güterzuglokomotiven dagegen die verlangte Zugkraft die höhere Anforderung.

Bei der ersteren Unterabteilung von Dampflokomotiven genügt daher in der Regel für die Zugkraft, d. i. also für die Überwindung der Zugwiderstände die Anordnung von 2 oder höchstens 3 gekuppelten Reibungsachsen; der erforderliche große Kessel bedingt aber ausnahmslos ein höheres Gesamtgewicht der Lokomotive, als es unter Berücksichtigung des zulässigen höchsten Achsdruckes auf nur 2 oder 3 Achsen untergebracht werden kann, so daß als Folge hiervon die Anordnung einer oder mehrerer Tragachsen notwendig wird.

Bei Güterzuglokomotiven dagegen muß, um der Forderung nach einer möglichst großen Zugkraft bzw. nach Beförderung möglichst hoher Zuggewichte gerecht zu werden, in erster Linie Wert darauf gelegt werden, das ganze vorhandene Lokomotivgewicht für die Reibungsarbeit nutzbar zu machen, also möglichst die Anordnung von Tragachsen zu vermeiden oder doch ihre Anzahl nach Möglichkeit einzuschränken.

Diese beiden grundlegenden Unterschiede in den Anforderungen an die Dampflokomotive sind in erster Linie ausschlaggebend für die Bauart derselben. Es entspricht nicht dem Zweck dieser Abhandlung, eine eingehende Berechnung der einzelnen Abmessungen der Dampflokomotiven zu geben, die schließlich in erster Linie nur dem Lokomotivfachmann Interesse böte; die vorstehende allgemeine Erörterung über den Arbeitsvorgang der Dampflokomotive und ihre Leistungsfähigkeit war jedoch notwendig, um in den nachfolgenden Besprechungen von Lokomotiven für verschiedene Verwendungszwecke auch dem Nichtfachmann die Möglichkeit zu geben, sich eine Vorstellung zu machen über die allgemeinen Gründe, die gerade für den jeweiligen Verwendungszweck die Wahl der entsprechenden Bauart notwendig erscheinen ließen.

Aus demselben Grunde ist auch vor Eingehen auf die einzelnen Lokomotivbauarten eine kurze Beschreibung der Hauptbestandteile der Dampflokomotive notwendig, zu deren wichtigsten der Dampfkessel gehört.

DAMPFKESSEL. Die Bauart des Lokomotivkessels ist in der Hauptsache auch heute im 20. Jahrhundert in den grundlegenden Prinzipien noch immer die gleiche, wie sie bereits die Stephensonsche Lokomotive „Rocket" im Jahre 1829 aufwies, wenn auch die Abmessungen (Abbildung 3) des Kessels gegenüber diesen ersten Ausführungen ganz gewaltig gewachsen sind. Der normale Lokomotivkessel ist ein Feuerbuchskessel mit innerer, kistenförmiger Feuerbuchse, in welcher sich der Rost befindet, und vorgehenden Heizröhren.

Seine Hauptbestandteile sind die innere, in Europa meist aus Kupferplatten, in Amerika aus Stahlplatten hergestellte Feuerbuchse mit der hinteren Rohrwand, der die innere Feuerbuchse umschließenden äußeren Feuerbuchse, an welche sich der

Langkessel anschließt, der vorn durch die vordere Rohrwand abgeschlossen wird und vor welcher sich die Rauchkammer befindet; ferner eine mehr oder minder große Anzahl von dünnwandigen Feuerrohren mit kleinem Durchmesser, welche in den beiden Rohrwänden eingewalzt sind und die Verbindung zwischen dem Feuerungsrost und dem Schornstein herstellen. Versuche, welche den Ersatz der teuren und schwierig herzustellenden inneren Feuerbuchse bezweckten, haben dauernde Erfolge nicht ergeben.

Der ankerlose Lokomotivkessel, Bauart Lentz, dessen Feuerungsherd in einem Wellblechflammrohr lag, gewann nur geringe Verbreitung und verschwand, als wiederholt Kesselexplosionen eintraten. — Auch der von amerikanischer Seite unternommene Versuch, dieser Bauart als Bauart Vanderbilt neuen Eingang zu verschaffen, scheiterte sehr bald.

Einige Verbreitung fanden besonders in Österreich die Kessel Bauart Brotan, bei denen die Innenfeuerungen nach Art der Schiffskessel ganz aus gebogenen Rohren bestanden, in welchen das Wasser zirkulierte; aber auch diese Kessel haben sich auf die Dauer nicht behaupten können. Neuerdings machen die preußischen Staatsbahnen Versuche mit einem Wasserröhrenkessel, Bauart Stroomann, bei welchem der Feuerungsherd durch ein Wellenflammrohr gebildet wird und der nicht Feuerrohre, sondern Wasserröhren aufweist. Die Hauptbestandteile dieses Kessels sind ein gewöhnlicher Walzenkessel mit Flammrohr und Dampfdom, eine Anzahl von Wasserröhren, welche die Vorderwand des Walzenkessels mit einer geschweißten Wasserkammer verbinden, und dem die Wasserröhren umhüllenden Rauchkammermantel. Der mit dieser neuen Bauart bezweckte Vorteil besteht (Abbildung 4) in der höheren Dampfentwicklungsmöglichkeit gegenüber dem alten Stephensonschen Rauchröhrenkessel, und es sind bei den Versuchen Dampfziffern von über 50 kg pro qm festgestellt worden.

Indessen konnten die Versuche mit dieser Kesselbauart noch nicht zum Abschluß gebracht werden, weil sich zunächst Unzuträglich-

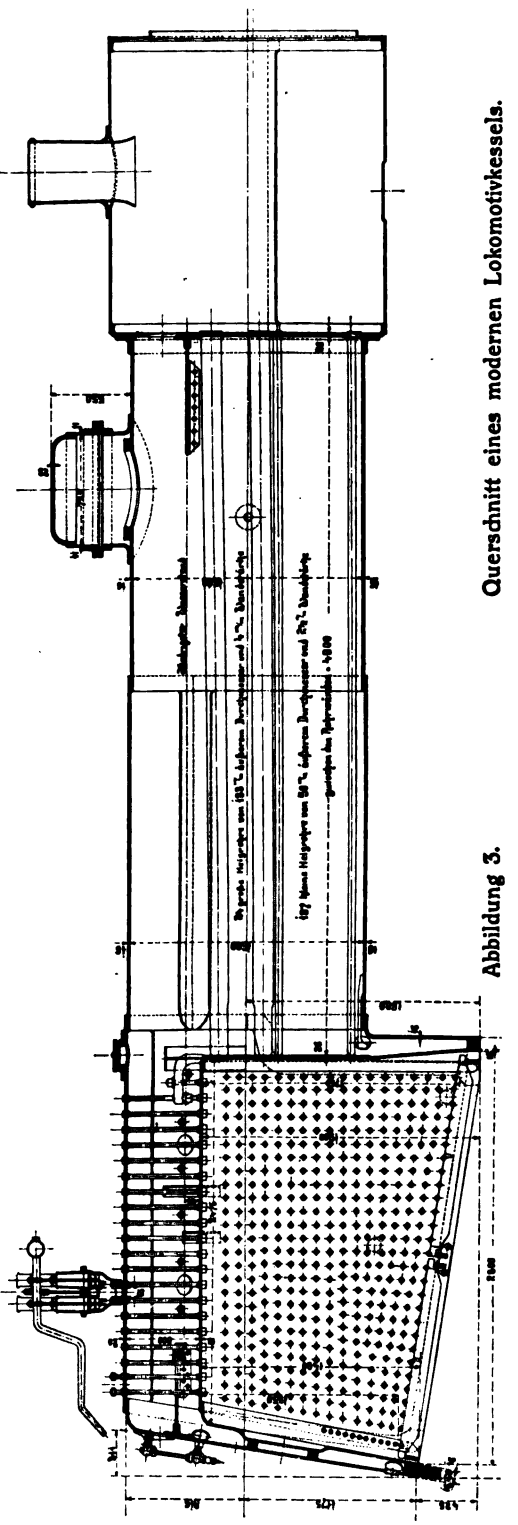


Abbildung 3. Querschnitt eines modernen Lokomotivkessels.

keiten im Betriebe herausstellten, insbesondere Undichtigkeiten, die wohl in erster Linie auf noch fehlende Fabrikationserfahrungen zurückzuführen sind. Man wird also abwarten müssen, ob dieser neueste Versuch mit einer anderen Kesselbauart dem alten Stephensonschen Kessel ernsthafte Konkurrenz wird machen können. Einstweilen behauptet er nach wie vor das Feld bei der Dampflokomotive, wenn er auch in wichtigen Einzelheiten nennenswerte Verbesserungen erhalten hat.

Die einschneidendste Verbesserung bezüglich Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Lokomotivkessels brachte die in den letzten zehn Jahren zur Einführung gelangte Überhitzung des Dampfes.

Waren die wertvollen Eigenschaften des überhitzten Dampfes bei ortsfesten Dampfanlagen schon längere Zeit vorher erkannt und die Verwendung in diesen Dampfmaschinen schon ziemlich verbreitet, so waren die Schwierigkeiten, den überhitzten Dampf auch bei Lokomotiven anzuwenden, doch außerordentlich große, und erst dem Zivilingenieur Wilhelm Schmidt in Wilhelmshöhe bei Kassel gelang es unter Mitwirkung des Geheimen Baurats Garbe, eine brauchbare und betriebssichere Ausführungsform für einen Lokomotivkessel-Überhitzer zu schaffen.

Bereits auf der Pariser Weltausstellung im Jahre 1900 konnte die Firma A. Borsig eine 2 B-Schnellzuglokomotive zur Ausstellung bringen, welche als einzige ihrer Art Aufsehen und Bewunderung erweckte.

Im Laufe der folgenden Jahre wurde durch stetig fortgesetzte Versuche und Beobachtungen im Betriebe der preußischen Staatsbahnen die Konstruktion des Überhitzers

Abbildung 4. Wasserröhrenkessel Bauart Stroomann.

stetig verbessert, und es kann nunmehr ohne weiteres als feststehend angesehen werden, daß die Zeit der Versuche hiermit endgültig vorüber ist und daß die Heißdampflokomotive für Vollbahnbetriebe das leistungsfähigste und wirtschaftlichste Fahrzeug auf Schienen darstellt. — Aus den zahllosen Erfindungen und Bauarten von Lokomotivüberhitzern, die im Laufe der letzten zehn Jahre entstanden, ragt bezüglich der Zahl der Ausführungen die Schmidtsche Bauart weit hervor. Den Siegeslauf, den die Heißdampflokomotive im allgemeinen und die Schmidtsche Bauart im besonderen im letzten Jahrzehnt antreten konnte, beweist am eindringlichsten die nachstehende Aufstellung über die Ausführung von Schmidtschen Lokomotivüberhitzern.

Im Jahre	1900	waren im Bau oder Betrieb	7 Lokomotiven	mit Überhitzern nach den Patenten von Wilhelm Schmidt.
„ „	1905	„ „ „ „ „	629 „	
„ „	1908	„ „ „ „ „	2908 „	
„ „	1910	„ „ „ „ „	6039 „	
Anfang	1912	„ „ „ „ „	10985 „	

Diese verteilen sich gemäß einer Broschüre der Schmidtschen Heißdampf-Gesellschaft m. b. H. zu Wilhelmshöhe bei Kassel vom Januar 1912 auf die einzelnen Länder wie folgt:

Belgien	486 Lokomotiven	Spanien	114 Lokomotiven
Bulgarien	1 „	Türkei	71 „
Dänemark	76 „	Ungarn	27 „
Deutschland	4000 „	Ägypten	1 „
Finnland	23 „	Argentinien	111 „
Frankreich	1109 „	Bolivien	1 „
Griechenland	16 „	Brasilien	40 „
Großbritannien	371 „	Chile	4 „
Holland	87 „	Engl. Kolonien	332 „
Italien	472 „	Franz. „	39 „
Luxemburg	1 „	Holländ. „	73 „
Norwegen	44 „	Japan	72 „
Österreich	636 „	Kongostaat	1 „
Portugal	16 „	Syrien	3 „
Rumänien	68 „	Uruguay	5 „
Rußland	582 „	Vereinigte Staaten von Nordamerika	1483 „
Schweden	295 „		
Schweiz	174 „		

Der Überhitzer in seiner heutigen endgültigen Ausgestaltung ist in den Lokomotivkessel in der Weise eingebaut, daß die oberen Reihen der gewöhnlichen Heizröhren mit kleinem Durchmesser ersetzt werden durch zwei oder drei Reihen nebeneinanderliegender Rauchröhren von größerem Durchmesser — 120 bis 130 mm lichtem Durchmesser —, die in gleicher Weise wie die normalen Heizröhren in beiden Rohrwänden eingewalzt werden (Abbildung 5). In diesen Rauchröhren von größerem Durchmesser liegt je ein dünnwandiges Röhrenbündel von engem Durchmesser, welches viermal der Länge nach das Rauchrohr ausfüllt und dessen beide Enden in einen Sammelkasten münden, der, in der Rauchkammer liegend, an der Rohrwand angebracht ist und die Verbindung mit dem Dampfraum des Kessels vermittels des Dampfentnahmeregulators im Dampfdom herstellt. Dieser Sammelkasten ist durch Scheidewände in zwei Abteile geteilt, und der Vorgang bei der Dampfüberhitzung ist dann der folgende: nach Öffnung des Dampfentnahmeregulators strömt der nasse Kesseldampf in den Sammelkasten und von hier durch die abwechselnd mit einem Rohrende in den Naß-

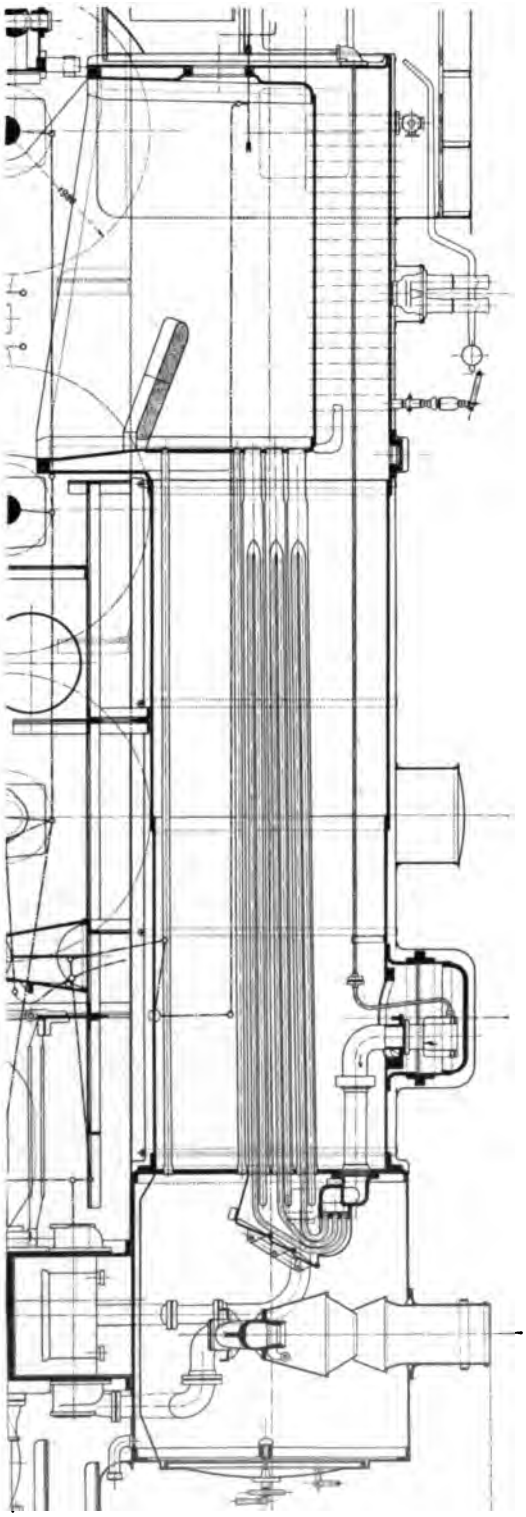


Abbildung 5. Schmidtscher Rauchröhrenüberhitzer im Lokomotivkessel.

dampfraum des Sammelkastens und mit dem anderen Ende in den Heißdampfraum mündenden Rohrbündel in die Überhitzerrohre, dabei viermal auf die Länge der Rauchröhren an den durch diese streichenden Feuergasen vorbeiziehend zurück zu dem Sammelkasten, in dessen Heißdampfraum eintretend und von hier zu den Dampfzylindern, um Arbeit zu verrichten. Durch das viermalige Vorbeiströmen an den Feuergasen wird dem Dampf das mitgerissene Wasser entzogen, er wird zuerst getrocknet und dann auf eine höhere Temperatur gebracht, als nassem Kesseldampf entspricht, d. h. er wird überhitzt. Temperaturen bis zu 350° sind im normalen Fahrbetriebe dauernd erreicht worden, also bei einer Dampfspannung von 12 atm, der eine normale Dampftemperatur von etwa 170° entspricht, eine Überhitzung um 180°!

Aus der vorstehenden Beschreibung des Überhitzers geht aber auch hervor, daß die Überhitzung des Dampfes erst nach Öffnen des Regulators in Kraft tritt, das heißt also, nachdem sich die Lokomotive in Bewegung gesetzt hat. Hieraus ergibt sich dann als logische Folgerung, daß die Wirkung des Überhitzers am kräftigsten ist, je länger sich die Lokomotive in Bewegung befindet, denn bei jedesmaligem Anhalten wird durch Schließen des Regulators auch der Überhitzer außer Tätigkeit gesetzt. Folgen nun, wie es bei Kleinbahnen zutrifft, diese Aufenthalte sehr häufig infolge der meist sehr kurzen Abstände der einzelnen Bahnstationen untereinander, und dauern diese Aufenthalte längere Zeit, so wird sich eine Dauerwirkung des Überhitzers nicht erreichen lassen, die wirtschaftlichen Vorteile des Heißdampfes bleiben ungehoben. In noch höherem Maße trifft das auf Lokomotiven für Rangierzwecke zu, und hier liegt die Erklärung dafür, daß der bei weitem größte Anteil an der großen Zahl im Betriebe befindlicher Heißdampflokomotiven auf die Schnellzug- und Güterzuglokomotiven der Voll-

bahnen entfällt; während sie in Kleinbahn- und industriellen Betrieben sich nur auf vereinzelte, besonders günstig liegende Betriebe beschränkt.

DIE DAMPFMASCHINE. Die Dampfwirkung bei den Lokomotiven erfolgt allgemein mit einfacher oder zweistufiger Dampfdehnung. Drei- oder mehrstufige Dampfdehnung hat bisher keine dauernde Anwendung gefunden, erscheint auch wegen des hohen Gegendrucks im Niederdruckzylinder nicht zweckmäßig. Bis Ende der siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts wiesen die Lokomotiven ausnahmslos einstufige Dampfdehnung auf, die in zwei horizontal oder wenig geneigt angeordneten Dampfzylindern erfolgte, welche mittels Kolbens und Kreuzkopfs die Kraft auf eine Achse übertrugen, auf der die Treibzapfen um 90 % zueinander versetzt waren.

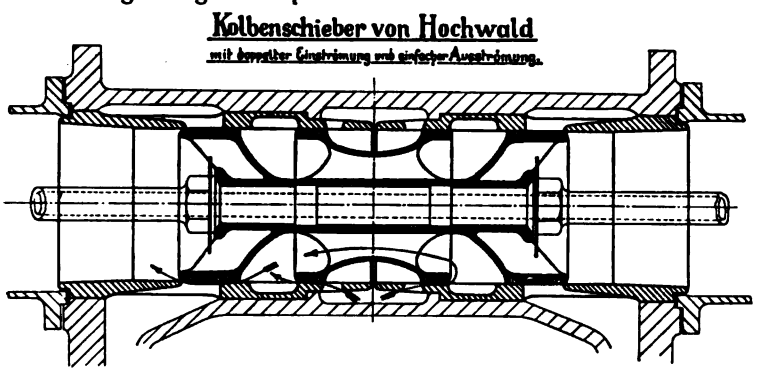
Erst im Jahre 1876 führte Schneider & Co. in Creuzot die ersten Zweizylinder-Verbundlokomotiven nach den Entwürfen von Mallet aus, denen 1880 die ersten in Deutschland von F. Schichau in Elbing erbauten folgten. Da die mit diesen Verbundlokomotiven erzielten Resultate in bezug auf den Kohlenverbrauch günstige waren, erreichte diese Bauart besonders durch die Arbeiten von v. Borries bald eine große Verbreitung. Der Ausführung mit je einem Hochdruck- und einem Niederdruckzylinder folgten in den neunziger Jahren die Vierzylinderlokomotiven mit zwei Hochdruck- und zwei Niederdruckzylindern, entweder in Tandemanordnung mit je einem Hoch- und Niederdruckzylinder hinter- oder übereinander oder derart angeordnet, daß die Hochdruckzylinder außerhalb des Rahmens, die Niederdruckzylinder innerhalb des Rahmens untergebracht wurden. Da die Vierzylinderanordnung besonders vorteilhaft auf den Massenausgleich der hin- und hergehenden Triebwerksmassen wirkt, findet sie sich in erster Linie bei den schnellfahrenden Lokomotiven, also den Schnellzug- und Personenzuglokomotiven, weniger häufig bei Güterzuglokomotiven.

Trotzdem die besonders auf deutschen Bahnen angestellten sehr eingehenden Beobachtungen eine Brennstoffersparnis von 15 bis 20 % gegenüber gleichstarken Zwillingslokomotiven ergaben, hielten sich doch viele Bahnverwaltungen des Auslandes sehr zurück, denn zur wirklichen Erzielung der Brennstoffersparnisse im Dauerbetriebe war eine Reihe von Forderungen bei Entwurf und Ausführung der Lokomotiven zu berücksichtigen, an denen häufiger Unterlassungssünden begangen wurden, die naturgemäß Fehlschläge zur Folge hatten.

Mitten in den Entwicklungsgang der Verbundlokomotive fiel dann der Übergang zum Heißdampf, der zur Folge hatte, daß auf lange Jahre hinaus die Verbundlokomotive zurücktrat, und erst neuerdings tritt sie für moderne Schnellzuglokomotiven wieder in die Erscheinung, und zwar in Verbindung mit dem Heißdampf als „Heißdampf-Verbund-Schnellzuglokomotive". Die Zweizylinder-Heißdampflokomotive hatte vor der Verbundlokomotive den Vorteil, daß sie gleichgroße Dampfzylinder benutzte und damit eine für beide Maschinenseiten unter allen Umständen gleiche Arbeit abgab; des weiteren vermied sie die Schwäche der Verbundlokomotive hinsichtlich des Anfahrens bei jeder Kurbelstellung, eine Eigenschaft, die bei der Verbundlokomotive erst durch mehr oder weniger komplizierte Hilfsmittel hergestellt werden mußte; dazu kam, daß eine nennenswerte Vergrößerung der Leistung von Verbundlokomotiven kaum mehr durchgeführt werden konnte, weil das zur Verfügung stehende Umgrenzungsprofil die Anordnung ausreichend großer Niederdruckzylinder behinderte, und endlich die Tatsache, daß durch Verwendung des Heißdampfes eine wesentlich höhere Ersparnis an Brennstoff und Kesselwasser erzielt wurde, als es bis dahin mit der besten Verbundlokomotive möglich gewesen war.

Mit der allgemeinen Einführung der Heißdampfmaschine Hand in Hand erfolgte auch der Übergang von dem bisher als Steuerungsorgan verwendeten flachen Muschelschieber, dessen Entlastung bei den großen Dimensionen der Niederdruckzylinder bereits große Schwierigkeiten bot, zu dem vollständig entlasteten Rund- oder Kolbenschieber.

Die früheren Flachschieber genügten nicht mehr und wurden vollständig verlassen; man ging zum Kolbenschieber mit innerem Dampfeintritt über. Es boten sich der Ausführung eines solchen allen Anforderungen im Betrieb entsprechenden Schiebers sehr große Schwierigkeiten, und die wertvollen wirtschaftlichen Eigenschaften des Heißdampfes traten voll erst dann in die Erscheinung, als es gelungen war, auf Grund der seitens der preußischen Staatsbahnen jahrelang fortgesetzten Betriebsversuche eine Schieberbauart festzustellen, die jeder Betriebsforderung entsprach: dauernd gute Dampfdichtheit, vollständige dauernde Entlastung, kleine schädliche Räume sowohl den Wandungen als auch dem Volumen nach, präziser Dampfabschluß, guter Voraustritt und günstige Kompressionsverhältnisse auch bei den kleinsten Zylinderfüllungen.



Abbild. 6. Kolbenschieber für Heißdampflokomotiven, Bauart Hochwald.

Der hier abgebildete Schieber, Bauart Hochwald, kann als eine der besten Ausführungsformen bezeichnet werden, nachdem es gelungen ist, noch bei Zylinderfüllungen von 5% des Kolbenhubes einwandfreie Dampfverteilung zu erzielen und so durch weitestgetriebene Dampfdehnung eine Ausnutzung des Heißdampfes zu erreichen, die bis vor nicht langer Zeit zu den Unmöglichkeiten zu gehören schien. (Abbildung 6.)

Nachdem nun im vorhergehenden ein kurz und allgemein gehaltener Hinweis auf den Entwicklungsgang der Dampflokomotive und auf ihre heutige Ausführungsform sowie die wichtigsten für den jeweiligen Verwendungszweck in Betracht kommenden Einzelheiten gegeben ist, kann im nachstehenden auf die einzelnen Bauarten für diese verschiedenen Verwendungszwecke näher eingegangen werden.

A. SCHNELLZUG-LOKOMOTIVEN. Nach Hammer beträgt die Zunahme der Lokomotivleistungen in den Schnell- und Eilzügen im Jahre 1909 gegenüber dem Jahre 1894 auf den preußischen Staatsbahnen etwa 565%; unter Berücksichtigung der vermehrten Anzahl der im Betriebe befindlichen Schnellzuglokomotiven ergibt sich weiter, daß von den heutigen Schnellzuglokomotiven etwa die dreifache Leistung gegenüber dem Jahre 1895 verlangt wird.

Aus diesem statistischen Rückblick, der auch in ähnlichem Umfang für die außerdeutschen Bahnen zutreffen dürfte, ergibt sich auch die Entwicklung der Schnellzuglokomotive. Lokomotiven mit einer freien Treibachse und mehreren Tragachsen kommen nur noch vereinzelt auf englischen Bahnen vor, wo sie Schnellzüge von mäßiger Belastung auf ebenen Strecken befördern. Abgesehen von diesen Spezialfällen finden sich jedoch ausnahmslos bei allen modernen Schnellzuglokomotiven zwei gekuppelte Treibachsen für die Flachlandstrecken mit geringen Steigungen und drei

gekuppelte Achsen für die Strecken, wo lange und größere Steigungen im Schnellzugverkehr zu überwinden sind. Zu diesen gekuppelten Treibachsen kommt mit wenigen Ausnahmen ein vorderes, unter der Rauchkammer liegendes zweiachsiges Drehgestell und des öfteren auch noch eine hintere, unter oder hinter der Feuerkiste liegende weitere Tragachse.

Diese im Verhältnis zur Anzahl der gekuppelten Achsen große Zahl von Tragachsen wird bedingt durch das Gewicht des Kessels, der mit Rücksicht auf die verlangte große Leistung sehr große Abmessungen erhalten hat.

Da bei den Schnellzuglokomotiven die durch den Fahrplan vorgeschriebene Geschwindigkeit die Hauptrolle spielt, die Einhaltung derselben aber davon abhängt, daß der Kessel genügend Dampf erzeugt, so ist der Gang der Entwicklung dieser Lokomotivbauart gegeben durch den Gesichtspunkt, daß der Kessel so leistungsfähig hergestellt werden muß, wie es eben erreichbar ist, sei es durch Vergrößerung von Heizfläche und Rostfläche bis an den höchst zulässigen Achsdruck heran, sei es durch Zuhilfenahme des Heißdampfes. Und in der Tat sind die früheren 1 B- und 2 B-Zwillings- und Verbundlokomotiven fast überall aus dem Schnellzugsdienst verschwunden, und als typische Bauart der Schnellzuglokomotive gilt heute die 2 B. H S L und die 2 C. H S L, zu welch letzterer auch noch die Vierzylinder-Zwillings- und die Vierzylinder-Verbundanordnung kommt; diese beiden letzteren aus der Forderung heraus, den Lauf der Lokomotive bei den in Betracht kommenden heutigen Geschwindigkeiten von 100 bis 120 km per Stunde zu einem möglichst ruhigen zu gestalten.

Als Beispiele dieser modernsten Schnellzuglokomotiven können die nachstehend aufgeführten gelten:

2 B. H S L (preußische S 6).

Zulässige größte Geschwindigkeit	110 km
Anzahl der Zylinder	2
Durchmesser der Zylinder	550 mm
Kolbenhub	630 „
Treibraddurchmesser	2100 „
Dampfüberdruck	12 atm
Rostfläche	2,305 qm
Heizfläche der Feuerbuchse	12,62 „
„ „ Siederohre	126,61 „
„ des Überhitzers	38,57 „
„ gesamt	177,80 qm
Wasserinhalt des Kessels	5,675 cbm
Dampfraum „ „	1,870 „
Leergewicht (ohne Tender)	53600 kg
Dienstgewicht „ „	59200 „
Reibungsgewicht	33370 „

2 C. H S L (4 Zyl. zw.). S 10. Verbund. (Abbildung 7.)

Zulässige größte Geschwindigkeit	110 km (120)
Anzahl der Zylinder	4 (2 außen, 2 innen) (4)
Durchmesser der Zylinder	4 × 430 mm (2 × 400/610)
Kolbenhub	630 „ (660)
Treibraddurchmesser	1980 „ (1980)
Dampfüberdruck	12 atm (15)
Rostfläche	2,61 qm (2,94)

Heizfläche der Feuerbuchse	13,57 qm	(16,89)
„ „ Siederohre	140,68 „	(148,89)
„ des Überhitzers	53 „	(52,50)
„ gesamt	207,25 qm	(218,28)
Wasserinhalt des Kessels	6,40 cbm	(6,53)
Dampfraum „ „	2,60 „	(2,66)
Leergewicht ohne Tender	70700 kg	(72400)
Dienstgewicht „ „	77720 „	(79600)
Reibungsgewicht	50920 „	(51000)

Die vorstehend näher beschriebenen beiden Bauarten können als Repräsentanten für den Verwendungszweck — Schnellzugsbetrieb — angesprochen werden. Sie sind in ihren Einzelheiten wissenschaftlich und praktisch bis in das Kleinste durchgearbeitet und dürften bei dem heutigen Stande der Eisenbahntechnik in bezug auf Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit nicht mehr übertroffen werden können. Was die Leistungsfähigkeit anbelangt, so ist auch diese unter Beachtung der durch das Umgrenzungsprofil und die Tragfähigkeit des Oberbaues gegebenen Möglichkeiten an ihrer erreichbaren Grenze angelangt; nur wenn diese Grenzen, wie in Nordamerika, weiter gezogen werden können, wird man in der Lage sein, auf dieser Basis auch die Leistung der Schnellzuglokomotiven wesentlich zu verstärken. Bei den von den preußischen Staatsbahnen mit den genannten beiden Bauarten vorgenommenen längeren Versuchsfahrten ergaben sich für die 2 B. H S L folgende Leistungsresultate (nach Hammer):

Grundgeschwindigkeit 90 km in der Stunde
Durchschnittsleistung am Tenderzughaken 673 P. S.
Kohlenverbrauch auf 1 P. S. = 1,750 kg
Wasserverbrauch „ 1 „ = 10,10 „
Verdampfungsziffer 5,78
Dampferzeugung auf 1 qm Heizfläche in der Stunde 49 kg
Verbrannte Kohle auf 1 qm Rostfläche in der Stunde 512 kg
Überhitzung im Mittel 350° C.

Diese 2 B-Lokomotive ist hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit sowohl auf Hügel- als auch auf Flachlandstrecken allen in Vergleich gezogenen Lokomotiven überlegen. Der Eigenwiderstand ist wegen der Einfachheit des Triebwerks sehr gering, ihr Lauf ist auch bei den größten noch zulässigen Geschwindigkeiten ruhig und stoßfrei; die größte Dauerleistung am Tenderzughaken kann zu 700 P. S. angenommen werden. Die 2 B. H S L ist die leistungsfähigste vierachsige Schnellzuglokomotive, die sich infolge ihrer bei kleinen und großen Leistungen fast gleichen Wirtschaftlichkeit für die Beförderung von Schnellzügen bis 400 t Gewicht eignet.

Bei schweren Zügen kommt dann die 2 C. H S L in Frage, für welche sich folgende Ziffern ergaben:

Grundgeschwindigkeit 95 km in der Stunde
Durchschnittsleistung am Tenderzughaken 1024 P. S.
Kohlenverbrauch auf 1 P. S. = 1,378 kg
Wasserverbrauch „ 1 „ = 8,08 „
Verdampfungsziffer 6,4
Dampferzeugung auf 1 qm Heizfläche in der Stunde 56 kg
Verbrannte Kohle auf 1 qm Rostfläche in der Stunde 553 kg
Überhitzung im Mittel 336° C.

In dem Werte von 8,08 kg für die P.S./st als Dampfverbrauch sind bereits alle Verluste berücksichtigt, die sich aus der Eigenreibung der Lokomotive, aus der Mitführung des 31,5 cbm fassenden Tenders, aus der Überwindung des Luftwiderstandes bei 95 km Geschwindigkeit usw. ergeben. Auf 1 P.S./st am Zughaken wurden im Durchschnitt nur 1,378 kg Kohle verbraucht; berücksichtigt man hierbei die Kosten für das Anheizen, die Frachtkosten, Lagerung, Verluste der Kohlen, so wird sich die P.S./st am Zughaken also auf nur etwa 3 Pf. stellen.

Die Höchstleistungen wurden erzielt beim Befahren einer mehrere Kilometer langen Steigung von 1 : 100 mit 55 bis 60 km/st und einem Zuge von 57 Achsen = 470 t und ergaben eine indizierte Leistung von etwa 1850 P.S. Das ist eine Leistung, wie sie bis vor wenigen Jahren noch als unerreichbar galt für eine Dampflokomotive. Beachtet man ferner, daß im Mittel für eine Zweizylinder-

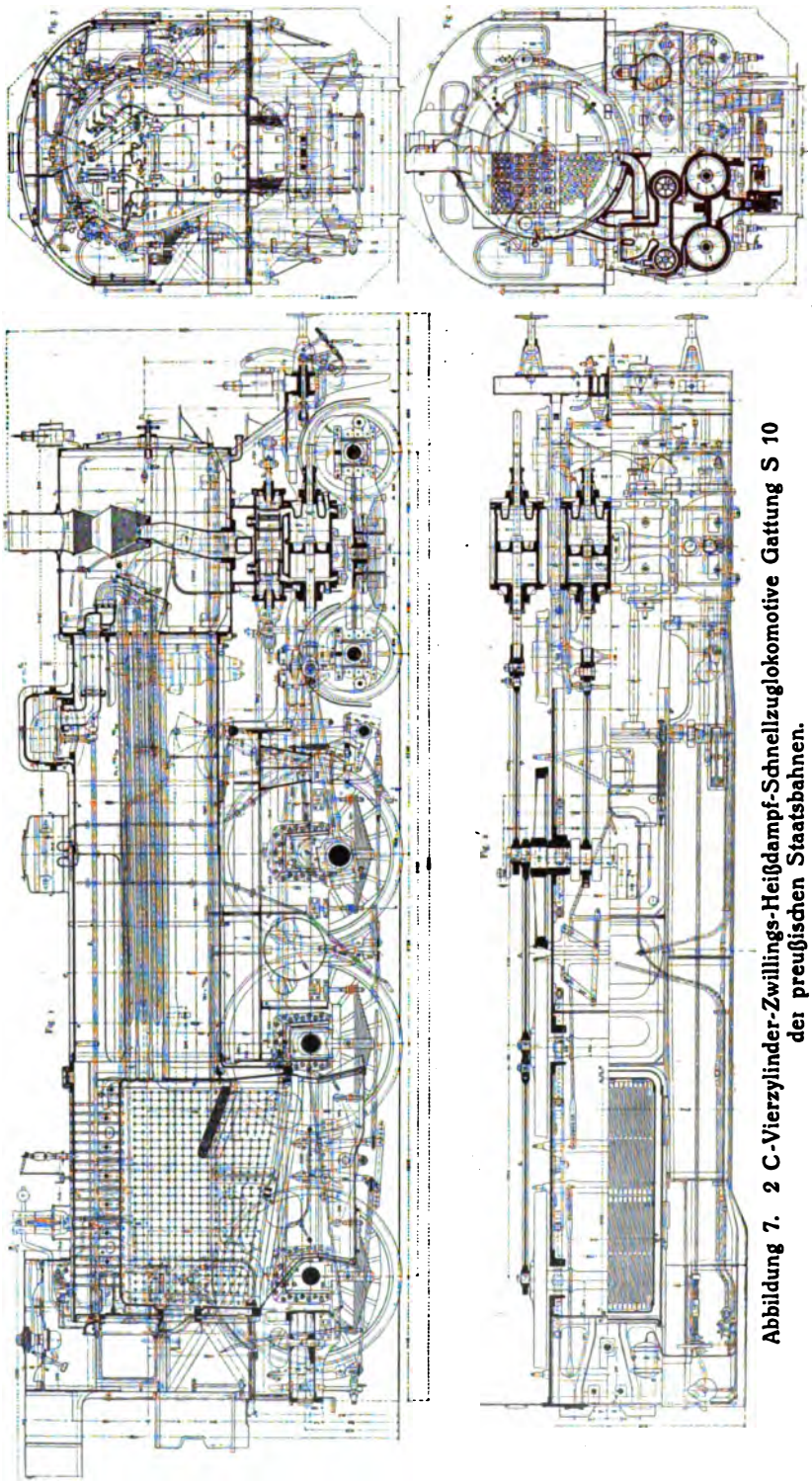


Abbildung 7. 2 C-Vierzylinder-Zwillings-Heißdampf-Schnellzuglokomotive Gattung S 10 der preußischen Staatsbahnen.

Naßdampflokomotive mit einem Dampfverbrauch von 18 kg, bei einer Zweizylinder-Verbundlokomotive mit einem solchen von 15 kg für die P. S./st am Tenderzughaken gerechnet werden muß, während er bei der 2 B. H S L nur 10 kg, bei der Vierzylinder-2 C-H S L v. nur etwa 8 kg beträgt, so ist die Überlegenheit der modernen Heißdampflokomotive jeder früheren Bauart auch in bezug auf die Wirtschaftlichkeit ohne weiteres erwiesen!

PERSONENZUG-LOKOMOTIVEN. Für den Personenzugdienst gelten im allgemeinen die gleichen Forderungen wie für den Schnellzugdienst, mit der Einschränkung, daß die Geschwindigkeitsgrenze niedriger gesetzt ist, so daß damit die Gesamtleistung der Lokomotive geringer zu sein braucht und infolge des dadurch sich ergebenden geringeren Gewichts auch andere Bauarten in Frage kommen. Auch finden sich bei diesen Betrieben, für nicht zu lange Bahnstrecken, bereits Tenderlokomotiven, das sind solche, die ihre Vorräte an Speisewasser und Brennmaterial mit sich führen, neben Lokomotiven mit besonderem Schlepptender.

Die Entwicklung der Bauart der Personenzuglokomotiven vollzieht sich in ähnlicher Weise wie die der Schnellzuglokomotiven. Während noch bis Ende 1900 hauptsächlich Verbundlokomotiven mit zwei oder vier Zylindern im Betriebe waren, sind diese zurzeit fast gänzlich von den Heißdampflokomotiven verdrängt. Zwei, jedoch meistens drei gekuppelte Achsen mit kleinerem Durchmesser bilden hier die Grundlage der Bauart, weil mit der verringerten Forderung nach Geschwindigkeit ein höheres Zuggewicht verbunden ist. Dazu kommt entweder eine meist vorn liegende Tragachse oder, wie bei den Schnellzuglokomotiven, ein zweiachsiges Drehgestell.

Als Beispiele moderner Bauarten von Personenzuglokomotiven können die beiden nachstehend beschriebenen gelten.

1 C. H P L (P 6).

Zulässige größte Geschwindigkeit	75—90 km
Anzahl der Zylinder	2
Durchmesser der Zylinder	540 mm
Kolbenhub	630 „
Treibraddurchmesser	1600 „
Dampfüberdruck	12 atm
Rostfläche	2,25 qm
Heizfläche der Feuerbuchse	11,49 qm
„ „ Siederohre	123,43 „
„ des Überhitzers	42,51 „
„ gesamt	177,43 qm
Wasserinhalt des Kessels	5,54 cbm
Dampfraum „ „	2,06 „
Leergewicht	52000 kg
Dienstgewicht	57500 „
Reibungsgewicht	44290 „

Die ebenfalls in die obige Kategorie fallende 2 C. H P L unterscheidet sich im Äußeren wenig von der 2 C. H S L und nähert sich auch, da die höchst zulässige Geschwindigkeit für diese Maschine auf 100 km in der Stunde festgesetzt ist, mehr den Schnellzuglokomotiven. Ihre Hauptabmessungen sind die folgenden:

Zulässige größte Geschwindigkeit	100 km
Anzahl der Zylinder	2
Durchmesser der Zylinder	575 mm
Kolbenhub	630 „

Abbildung 8. 2 C-Heißdampf-Personenzug-Tenderlokomotive der preußischen Staatsbahnen.

Treibraddurchmesser	1750 mm
Dampfüberdruck	12 atm
Rostfläche	2,6 qm
Heizfläche der Feuerbuchse	14,22 qm
„ „ Siederohre	135,94 „
„ des Überhitzers	49,38 „
„ gesamt	199,54 qm
Wasserinhalt des Kessels	6,62 cbm
Dampfraum „ „	2,17 „
Leergewicht	61100 kg
Dienstgewicht	68450 „
Reibungsgewicht	47570 „

Aus der obigen 2 C. H P L entwickelte sich als Personenzuglokomotive für kürzere Strecken mit beträchtlichen Steigungen die 2 C. H P T L (Abbildung 8) mit folgenden Abmessungen:

2 C. H P T L.

Zulässige größte Geschwindigkeit	100 km
Anzahl der Zylinder	2
Durchmesser der Zylinder	575 mm
Kolbenhub	630 „
Treibraddurchmesser	1750 „
Dampfüberdruck	12 atm
Rostfläche	1,85 qm
Heizfläche der Feuerbuchse	10,15 qm
„ „ Siederohre	122,38 „
„ des Überhitzers	39,70 „
„ gesamt	162,23 qm
Leergewicht	60000 kg
Dienstgewicht	75750 „
Reibungsgewicht	46300 „

Zeigten die bisherigen Beispiele Lokomotiven für normale Spurweite, so reichen in den Abschnitt der Personenzuglokomotiven auch bereits schmalspurige Lokomotiven hinein, für welche gleiche Forderungen zu erfüllen sind. Als ein Beispiel einer

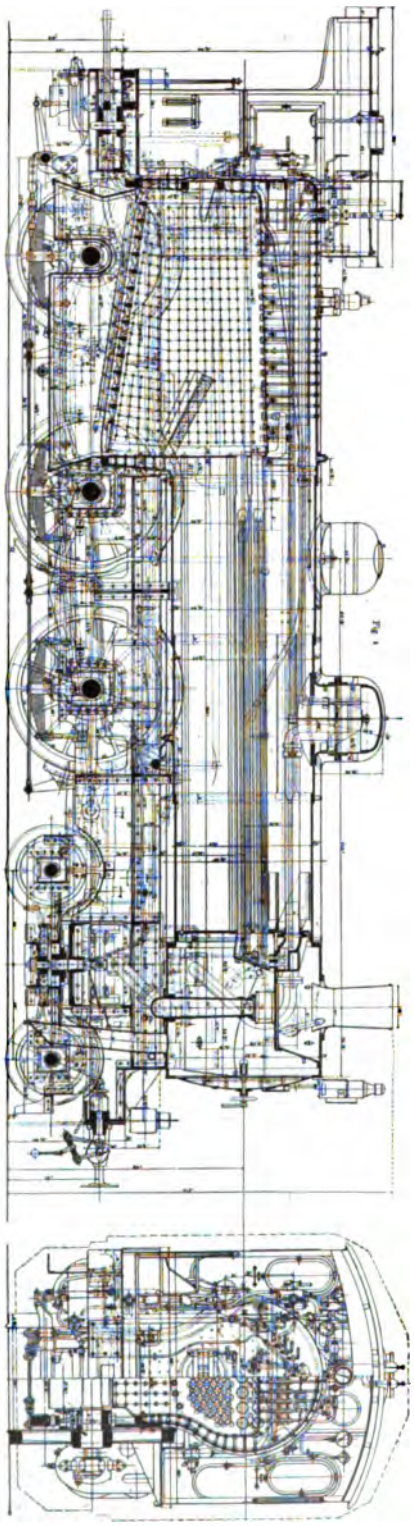


Abbildung 9. Schmalspurige 2 C-Heißdampf-Personenzuglokomotive der japanischen Staatsbahn.

solchen schmalspurigen Personenzuglokomotive kann die nebenstehend abgebildete Lokomotive der japanischen Staatsbahnen angesehen werden. (Abbildung 9.)

2 C. H P L (1067 mm Spurweite).

Zulässige größte Geschwindigkeit	90 km
Anzahl der Zylinder	2
Durchmesser der Zylinder	470 mm
Kolbenhub	610 „
Treibraddurchmesser	1600 „
Dampfüberdruck	12,7 atm
Rostfläche	1,86 qm
Heizfläche der Feuerbuchse	12,37 qm
„ „ Siederohre	99,48 „
„ des Überhitzers	26,95 „
„ gesamt	138,80 qm
Leergewicht	46200 kg
Dienstgewicht	51500 „
Reibungsgewicht	37500 „

Es liegt auf der Hand, daß die Unterbringung eines Kessels von großer Heiz- und Rostfläche durch die schmälere Spurweite außerordentlich erschwert wird, da einmal der die Rostfläche bildende untere Teil des Feuerkastens zwischen die Räder eingezogen werden muß, und anderseits die Hochlage des Kessels über Schienenoberkante mit Rücksicht auf die Stabilität der ganzen Maschine mit abnehmender Spurweite nach unten begrenzt wird.

LOKOMOTIVEN FÜR GEMISCHTE ZÜGE. Für viele Bahnbetriebe stellte sich das Bedürfnis heraus, Lokomotiven zu besitzen, die nicht nur reine Schnell- oder Personenzüge einerseits und gewöhnliche Güterzüge anderseits mit den dafür in Frage kommenden normalen Geschwindigkeiten befördern konnten, sondern auch imstande waren, auf ungünstigen Strecken den bei Beförderung von Auswanderer-, Eilgüter-, Fischzügen u. dgl. zu stellenden Anforderungen zu entsprechen. Die für diese Zwecke bisher verwandte 1 C-Güterzuglokomotive lief bereits bei Geschwindigkeiten von 50 bis 55 km in der Stunde recht unruhig, und bei der erfolgten Erhöhung der Geschwindigkeit für diese Art von Zügen auf 60 km mußte daher eine andere, leistungsfähigere Maschine beschafft werden.

Als die für diese Art von Betrieben bestgeeignete Lokomotive kann die 1 C. H P L (siehe unter Personenzuglokomotiven) bezeichnet werden. Die höchste Dauerleistung liegt bei dieser Lokomotive bei Geschwindigkeiten von 50 bis 70 km/st; die

Abbildung 10. 1 C-Heißdampf-Personenzug-Tenderlokomotive der preußischen Staatsbahn.

Anzugkraft ist infolge der Raddurchmesser von nur 1600 mm sehr groß, und der Lauf ist auch noch bei Geschwindigkeiten von 90 km/st in Gefällen vollkommen ruhig.

Neben dieser Bauart hat auch auf kürzeren Strecken für gemischte Züge die aus ihr hervorgegangene 1 C-Heißdampf-Tenderlokomotive große Verbreitung gefunden.

1 C. H P T L (Abbildung 10).

Zulässige größte Geschwindigkeit	80 km
Anzahl der Zylinder	2
Durchmesser der Zylinder	540 mm
Kolbenhub	630 „
Treibraddurchmesser	1500 „
Dampfdruck	12 atm
Rostfläche	1,70 qm
Heizfläche der Feuerbuchse	9,26 qm
„ „ Siederohre	102,60 „
„ des Überhitzers	26,70 „
„ gesamt	138,56 qm
Leergewicht	50 600 kg
Dienstgewicht	63 050 „
Reibungsgewicht	48 700 „

Diese Lokomotivgattung ist beispielsweise in großer Zahl im Betriebe auf den Berliner Vorortbahnen, und dient hier sowohl der Beförderung von Vorortzügen mit reiner Personenbeförderung, wozu sie sich infolge ihrer großen Anfahrbeschleunigung hervorragend eignet, wie auch zur Beförderung von Güterzügen. Auch im Nebenbahnbetriebe hat sie sich als Gemischtzuglokomotive auf nicht zu langen Strecken gut eingeführt.

GÜTERZUG-LOKOMOTIVEN. Im Güterverkehr kommt es vor allem darauf an, große Massen mit möglichst geringen Kosten zu befördern, die Zugkraft der Lokomotive aus ihrem Gewicht also nach Möglichkeit auszunutzen. Deshalb wird bei diesen Lokomotiven dahin gestrebt, das gesamte Gewicht der Lokomotive für die Reibungsarbeit nutzbar zu machen, also die Zahl der für die Reibungsarbeit nutzlosen

Laufachsen so weit zu beschränken, wie es die Rücksicht auf den Oberbau zuläßt. Deshalb kennzeichnet sich die Bauart der Güterzuglokomotiven durch die größere Anzahl der gekuppelten Treibachsen; im Vollbahngüterbetriebe verschwinden die Lokomotiven mit nur 3 gekuppelten Achsen fast gänzlich und werden ersetzt durch solche mit 4 und 5, vereinzelt sogar mit 6 gekuppelten Achsen. Die Nordamerikaner gehen in ihrem Bestreben, unter allen Umständen die größten und stärksten Lokomotiven zu haben, sogar bis zu 8 und 10 gekuppelten Achsen, jedoch muß hierzu bemerkt werden, daß mit derart komplizierten Maschinen die Grenzen der Wirtschaftlichkeit überschritten werden.

Mit der zunehmenden Anzahl der Achsen einer Lokomotive wächst natürlich der Radstand derselben, das heißt die Entfernung von der ersten bis zur letzten Achse. Dieser Radstand steht aber in Wechselwirkung zu den vorhandenen Gleiskrümmungen, und es bedarf bereits bei 4 Achsen besonderer Einrichtungen, welche die Lokomotiven befähigen, die Gleiskrümmungen sicher und ohne schädliches Zwängen zu befahren. Je größer die Anzahl der Achsen einer Lokomotive, um so komplizierter die Vorkehrungen für das Befahren der Krümmungen und um so unwirtschaftlicher wird infolgedessen im allgemeinen die Lokomotive.

Bei Güterzuglokomotiven findet sich, besonders im Auslande, noch vielverbreitet die Verbundmaschine mit 2 oder 4 Dampfzylindern, während sie in Deutschland auch bereits fast ganz von der Heißdampflokomotive verdrängt ist. Als Beispiele moderner, besonders leistungsfähiger und in bezug auf Wirtschaftlichkeit hervorragend durchgearbeiteter Güterzuglokomotiven können die nachstehenden Bauarten gelten:

E-Güterzug-Verbundlokomotiven der serbischen Staatsbahnen. (Abbildung 11.)

Zulässige größte Geschwindigkeit	50 km
Anzahl der Zylinder	2
Durchmesser der Zylinder	560/850 mm
Kolbenhub	632 mm
Treibraddurchmesser	1316 „
Dampfdruck	12 atm
Rostfläche	3,46 qm
Heizfläche der Feuerbuchse	12,00 qm
„ „ Siederohre	189,00 „
„ gesamt	201,00 qm
Leergewicht der Lokomotive ohne Tender	60000 kg
Dienstgewicht der Lokomotive ohne Tender	66000 „

Wesentlich leistungsfähiger ist die

E-Heißdampf-Güterzuglokomotive der preußischen Staatsbahnen.

Zulässige größte Geschwindigkeit	50 km
Anzahl der Zylinder	2
Durchmesser der Zylinder	630 mm
Kolbenhub	660 „
Treibraddurchmesser	1400 „
Dampfdruck	12 atm
Rostfläche	2,62 qm
Heizfläche der Feuerbuchse	17,38 qm
„ „ Siederohre	136,77 „
„ des Überhitzers	49,40 „
„ gesamt	203,55 qm
Leergewicht	62600 kg
Dienstgewicht	69550 „

Abbildung 11. E-Güterzug-Verbundlokomotive der serbischen Staatsbahnen.

Bei diesen Lokomotiven ist die Kurvenbeweglichkeit dadurch erreicht, daß die vordere und die hintere Kuppelachse freies seitliches Spiel nach beiden Seiten hin in den Achslagern und Zapfenlagern erhalten und so ein zwangloses Einstellen in den Krümmungen ermöglichen. Diese äußerst einfache Vorrichtung wurde zuerst in Österreich durch Geh. Baurat Goelsdorf erprobt und hat sich inzwischen als beste und einfachste Maßnahme bei vier- und fünffach gekuppelten Lokomotiven überall eingeführt.

Für kurze Strecken sind auch für die Beförderung von Güterzügen Tenderlokomotiven in Verwendung mit 4 oder 5 gekuppelten Achsen, als deren leistungsfähigsten Vertreter man die aus der vorstehend beschriebenen E-H G L hervorgegangene E-Heißdampf-Tenderlokomotive bezeichnen kann.

Eine noch wesentlich stärkere Güterzuglokomotive ist die 1 E-Vierzylinder-Heißdampf-Güterzuglokomotive der belgischen Staatsbahnen, welche wohl als die schwerste europäische Güterzuglokomotive bezeichnet werden kann.

Anzahl der Zylinder	4
Durchmesser der Zylinder	4 × 500 mm
Kolbenhub	660 „
Treibraddurchmesser	1450 „
Dampfdruck	12 atm
Rostfläche	5,1 qm
Heizfläche gesamt	299,0 „
Dienstgewicht ohne Tender	104200 kg

Diese schwersten Güterzuglokomotiven sind für die Linie Luxemburg—Namur bestimmt, auf der bisher die schweren Güterzüge von drei C-Lokomotiven befördert werden müssen.

Bei den im Jahre 1910 vorgenommenen Versuchsfahrten wurden nachstehende Zugleistungen erzielt:

1310 t auf der horizontalen mit 60 km in der Stunde
444 t „ „ Steigung 1 : 40 „ 25 „ „ „ „

Bei diesem Beispiel dürfte die Grenze der Wirtschaftlichkeit erreicht sein, eine noch größere Steigerung der Abmessungen der Lokomotiven könnte nur auf Kosten der

Einfachheit des Mechanismus und der Betriebssicherheit erfolgen; es erscheint bereits hier zweifelhaft, ob das Heizerpersonal imstande ist, dauernd den enormen Kessel so zu beschicken, daß er voll ausgenutzt wird und damit seinen höchsten wirtschaftlichen Effekt hergibt.

Als Kennzeichen aller bisherigen Beispiele für Vollbahnlokomotiven ergibt sich aber gemeinsam für alle Verwendungszwecke einerseits das Bestreben, die Leistungsfähigkeit immer weiter zu steigern und anderseits die Wirtschaftlichkeit der Dampflokomotive zu vergrößern.

LOKOMOTIVEN FÜR NEBENBAHNEN. An der gewaltigen Verkehrssteigerung, die das letzte Jahrzehnt den Vollbahnen gebracht hat, nehmen auch die zum Teil in staatlichem, zum Teil in privatem Betriebe befindlichen Bahnen zweiter Ordnung teil, die Nebeneisenbahnen. Als solche sind zu verstehen in der Mehrzahl vollspurige, mittels Dampfkraft durch Lokomotiven betriebene, dem öffentlichen Verkehr dienende Eisenbahnen, auf welche Betriebsmittel der Hauptbahnen übergehen können, bei denen aber die Fahrgeschwindigkeit von 40 km, in einigen Fällen auch von 50 km im allgemeinen nicht überschritten werden darf. Bei diesen Bahnen ist auch der Oberbau in der Regel schwächer als bei den Vollbahnen, und ein Raddruck von 5000, neuerdings von 6000 kg kann als die Grenze angesehen werden. Da die Nebenbahnen meist nur über kürzere Strecken führen, erübrigt sich die Mitführung eines besonderen Schlepptenders für die Vorräte an Speisewasser und Brennmaterial, und die hierfür bestimmten Lokomotiven werden daher ausnahmslos als Tenderlokomotiven ausgeführt.

Da ferner der Bestand dieser Bahnen an Lokomotivmaterial meist im Interesse geringer Anlagekosten sehr knapp ist, sind die Verwaltungen, abgesehen von einzelnen besonderen Fällen, auch nicht in der Lage, sich besondere Bauarten für die Beförderung von Personenzügen oder Güterzügen zu beschaffen, sondern sie bedürfen einer für alle Verwendungszwecke geeigneten Maschine.

Die Geschwindigkeitsunterschiede sind hier auch verhältnismäßig gering, die Ansprüche an die Kesselleistung bewegen sich in engeren Grenzen, und deshalb gehören Laufachsen bei den Nebenbahnlokomotiven zu den Seltenheiten; sie haben hier im allgemeinen auch keine Berechtigung, denn da die Laufachse für die Reibungsarbeit nicht nutzbar gemacht wird, da sie ferner für die ruhige Gangart der Lokomotive bei den hier in Betracht kommenden geringen Geschwindigkeiten nicht in Betracht kommt, so bedeutet das Mitführen der Laufachslast eine nutzlose Ausgabe, die auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebes ungünstig einwirkt.

Der Heißdampf hat sich in diesen Betrieben nur sehr vereinzelt Eingang verschaffen können und mit Recht nur da, wo die Betriebsverhältnisse für ihn günstig lagen. In den meisten Fällen wird dieses jedoch nicht zutreffen und die erhöhten Ausgaben bei der Beschaffung der teureren Heißdampflokomotive können erspart werden. Dagegen haben sich Verbundlokomotiven bei größeren Verwaltungen auch bis heute noch erhalten, da sie in manchen Fällen Ersparnisse an Brennmaterial brachten.

Im allgemeinen jedoch ist die Bauart der Nebenbahnlokomotive die der B, C, D oder E gekuppelten Tenderlokomotive.

Die B-Tenderlokomotive findet in diesen Bahnbetrieben nur wenig noch Verwendung für die Beförderung von Güter- oder Gemischtzügen, denn ihre Zugkraft ist mit Rücksicht auf den schwächeren Oberbau und das damit zusammenhängende geringe Reibungsgewicht eine sehr begrenzte. Dagegen wird sie vielfach zur Beförderung

Abbildung 12. C-Nebenbahn-Tenderlokomotive.

leichter Personenzüge (Omnibuszüge) verwendet, wo die Einlegung solcher Züge in den Fahrplan sich als notwendig erweist.

Die normale Nebenbahnlokomotive, die sich außerordentlich großer Verbreitung erfreut, ist jedoch die C-Tenderlokomotive, mit früher 5 t, jetzt 6 t Raddruck.

C-Tenderlokomotive. (Abbildung 12.)

Zulässige größte Geschwindigkeit	45 km
Anzahl der Zylinder	2
Durchmesser der Zylinder	380 mm
Kolbenhub	550 „
Treibraddurchmesser	1100 „
Dampfdruck	12 atm
Radstand	3000 mm
Rostfläche	1,4 qm
Heizfläche	70,0 „
Raum für Speisewasser	5 cbm
„ „ Kohle	2 „
Leergewicht	27500 kg
Dienstgewicht	36000 „

Für Strecken mit größeren Steigungen und stärkerem Güterverkehr kommt dann die D-Tenderlokomotive mit 4 gekuppelten Achsen und die E-Tenderlokomotive mit 5 gekuppelten Achsen zur Verwendung, mit einem Dienstgewicht, das von dem jeweiligen Oberbau abhängig ist. Zwecks Anpassung an die Gleiskrümmungen genügt auch hier, zweien der gekuppelten Achsen seitliches Spiel in den Lagern nach Bauart Goelsdorf zu geben, da durch die Bedingung, daß rollendes Material der Hauptbahnen auf die Nebenstrecken übergehen soll, sich die Krümmungsverhältnisse dieser Bahnstrecken denen der Hauptbahnen anpassen.

LOKOMOTIVEN FÜR KLEINBAHNEN. Weit größer ist die Verschiedenartigkeit der Betriebsverhältnisse bei den meist schmalspurigen Kleinbahnen, worunter die

auch dem öffentlichen Verkehr dienenden Zubringerlinien zu den normalspurigen Haupt- und Nebenbahnen verstanden werden. Die überaus große Zahl der zur Anwendung gelangten Spurweiten auf einer Seite und die weit schwierigeren Streckenverhältnisse anderseits bedingen eine außerordentliche Mannigfaltigkeit der Lokomotivbauarten.

Um beim Bau solcher Kleinbahnen die Anlagekosten möglichst niedrig zu halten, werden Erdbewegungen nach Möglichkeit vermieden und die Bahn dem vorhandenen Gelände angepaßt, wobei sich natürlich besonders in hügeligem Gelände Steigungs- und Krümmungsverhältnisse ergeben, die viel ungünstiger sind als im Verhältnis bei den Voll- und Nebenbahnen. Aus dem gleichen Grunde wird auch häufig — wenn auch nicht zum Vorteil der Verkehrsverhältnisse — ein möglichst schwacher Oberbau gewählt, der zur Folge hat, daß bei der gewöhnlich sehr rasch eintretenden Verkehrssteigerung vielfach gekuppelte und komplizierte Lokomotivbauarten erforderlich werden.

Als übliche Grundspurweiten sind für diese Kleinbahnen anzusehen die Maße: 1000, 750 und 600 mm mit ihren zahlreichen Zwischenstufen.

In allen Fällen handelt es sich auch hier um Tenderlokomotiven mit 2, 3 oder 4 gekuppelten Achsen, zu denen auch noch des öfteren eine Laufachse tritt, sobald die vorhandenen Krümmungen nicht zu besonderen Ausführungsformen zwingen. Einige Beispiele besonders leistungsfähiger schmalspuriger Kleinbahnlokomotiven mögen hier folgen:

1 C. T L (Herforder Kleinbahn, Abbildung 13).

Spurweite	1000 mm
Zulässiger Raddruck	4000 kg
Größte Geschwindigkeit in der Stunde	35 km
Kleinste Krümmung	70 m Halbmesser
Zylinderdurchmesser	330 mm
Kolbenhub	400 „
Treibraddurchmesser	800 „
Heizfläche	65 qm
Rostfläche	1,3 qm

Abbildung 13. 1 C-Kleinbahnlokomotive für 1000 mm Spurweite.

Leergewicht	22000 kg
Dienstgewicht	28000 „
Reibungsgewicht	24000 „

Die vordere Laufachse hat radialen Ausschlag nach beiden Seiten, so daß für das Befahren der kleinen Krümmungen nur ein fester Radstand von 2200 mm in Frage kommt; für diese Lokomotivgattung bestanden die Forderungen: möglichst große Zugleistung bei guter Durchschnittsgeschwindigkeit, gute Kurvenbeweglichkeit in den zahlreichen Gleiskrümmungen bis herab zu 70 m Halbmesser und Anpassungsfähigkeit an die Gleislage, die teilweise über nachgiebigen Moorboden führte.

Abbildung 14. Kleinbahnlokomotive für 785 mm Spurweite.

C 1. T L (Schlesische Kleinbahn, Abbildung 14).

Spurweite	785 mm
Zulässiger Raddruck	4300 kg
Größte Geschwindigkeit	30 km
Kleinste Krümmung	50 m
Zylinderdurchmesser	320 mm
Kolbenhub	400 „
Treibraddurchmesser	800 „
Heizfläche	40 qm
Rostfläche	0,8 qm
Raum für Wasser	3,000 cbm
„ „ Kohlen	1,250 „
Leergewicht	19750 kg
Dienstgewicht	26000 „
Reibungsgewicht	22000 „

Bei dieser Lokomotive ist die radial bewegliche Laufachse nach hinten gelegt, weil infolge der geringen Spurweite der Schwerpunkt der Lokomotive nach unten gerückt werden mußte und deshalb der Kessel nicht mehr über die Räder gelegt werden konnte. Ein Einziehen der Feuerbuchse zwischen die Räder verbot sich wegen des dann zu schmal werdenden Rostes, und es blieb nichts übrig, als den Feuerkasten hinter die hintere Kuppelachse zu verlegen und das dadurch hinten überhängende Lokomotivgewicht von der Laufachse aufnehmen zu lassen.

D T. L (600 Spurweite). (Abbildung 15.)

Spurweite	600 mm
Zulässiger Raddruck	2200 kg
Größte Geschwindigkeit	25 km in der Stunde
Kleinste Krümmung	50 m Halbmesser
Zylinderdurchmesser	280 mm
Kolbenhub	360 „
Treibraddurchmesser	720 „
Heizfläche	33 qm
Rostfläche	0,60 qm
Raum für Wasser	2,00 cbm
„ „ Kohlen	1,00 „
Leergewicht	13300 kg
Dienstgewicht	17600 „
Reibungsgewicht	17600 „

Bei dem durch die kleinen Räder möglichen kurzen Radstande konnte eine genügende Kurvenbeweglichkeit noch durch die Bauart Goelsdorf erreicht werden. Schwieriger wird die Bauart schmalspuriger Lokomotiven, wenn einerseits noch leistungsfähigere Lokomotiven benötigt werden und wenn anderseits die Krümmungen schärfer sind. Für solche Verhältnisse treten dann die kurvenbeweglichen Lokomotiven ein.

KURVENBEWEGLICHE LOKOMOTIVEN. Unter den zahlreichen Ausführungsformen kurvenbeweglicher Lokomotiven erfreuen sich dauernder Verwendung in ausgedehntem Maße in erster Linie die beiden Bauarten nach Mallet und nach Klien-Lindner.

Die erstere Bauart ist besonders geeignet für schmalspurige Hügellandbahnen, deren gesteigertem Güterverkehr sie dadurch Rechnung trägt, daß sie die Verwendung starker Lokomotiven mit geringen Raddrücken und großer Kurvenbeweglichkeit unter Ausnutzung des gesamten Lokomotivgewichts für die Reibungsarbeit ermöglicht.

Abbildung 15. D-Kleinbahnlokomotive für 600 mm Spurweite.

Der Grundgedanke, zwei vollständige Triebwerke durch Scharniere zu einer Lokomotive zu vereinigen, wurde zuerst in der Bauart Meyer in die Praxis umgesetzt; bei diesen Meyerschen Lokomotiven sind beide Triebgestelle beweglich und tragen einen gemeinschaftlichen Kessel, während der Amerikaner Fairlie zwei vollständige an den Feuerkästen zusammenhängende Kessel mit gemeinsamem Dampf- und Wasserraum verwendete. Beide Bauarten fanden keine nennenswerte Verbreitung, denn den Vorteilen der erreichten Kurvenbeweglichkeit standen die im Betriebe störenden Nachteile entgegen, daß infolge der Drehbarkeit beider Gestelle auch die Hochdruckdampfleitung zu den Zylindern

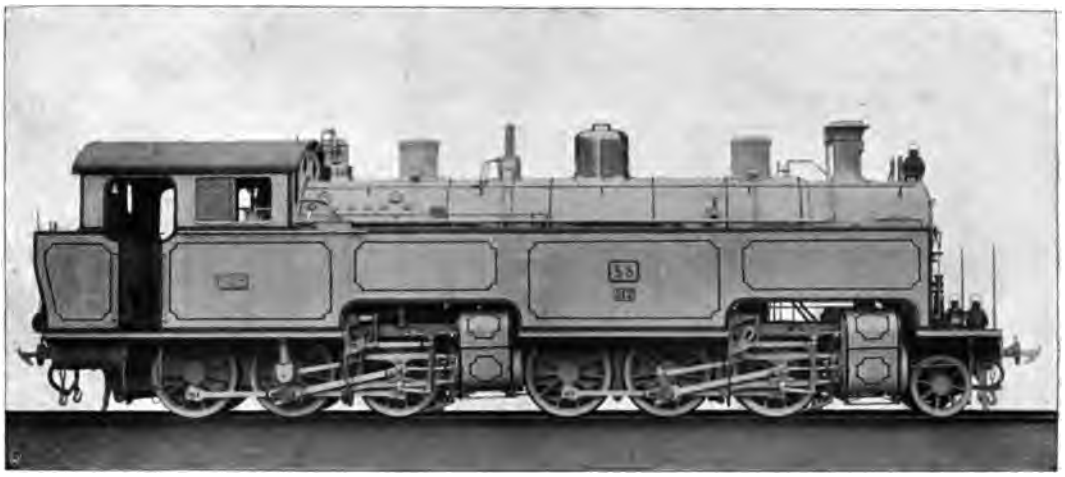


Abbildung 16. 1 C + C-Mallet-Tenderlokomotive der holländischen Staatsbahnen auf Java.

beweglich sein mußte. Diese Dampfleitung war aber im Betriebe nicht dauernd dicht zu halten und wurde die Ursache häufiger Betriebsstörungen und lästiger Instandhaltungsarbeiten. Den angeführten Übelstand vermeidet die Malletlokomotive, indem hier das hintere Triebgestell, welches die beiden Hochdruckzylinder trägt, in fester Verbindung steht mit dem Hauptrahmen und dem gemeinschaftlichen Kessel, während das vordere, die beiden Niederdruckzylinder tragende Triebgestell an dem ersteren um senkrecht angeordnete Scharnierbolzen drehbar befestigt ist. Ein Teil des Kesselgewichts wird durch den vorderen Träger auf das vordere Drehgestell übertragen, so daß letzteres auch mit der Hauptmasse des Hintergestells verbunden ist. Die erforderliche Dampfzuleitung zu den Hochdruckzylindern ist also bei der Malletlokomotive fest, und nur die vom niedriggespannten Verbinder- bzw. dem Auspuffdampfe aus den Niederdruckzylindern erfüllte Dampfleitung muß beweglich hergestellt sein, und deren Dichthalten bietet im Betriebe keine besonderen Schwierigkeiten.

Diese Bauart hat Verwendung gefunden von den kleinsten Abmessungen bei schmalspurigen Bahnen mit zwei Triebwerken, zu je 2 oder 3 gekuppelten Achsen, bis zu den neuesten amerikanischen Riesenlokomotiven, die zwei Triebwerke zu je 4 oder gar 5 gekuppelten Achsen aufweisen.

Als ein gutes Beispiel einer leistungsfähigen Mallet-Kleinbahnlokomotive kann die vorstehend abgebildete Lokomotive angesehen werden. (Abbildung 16.)

1 C + C-Mallet-Lokomotive.

Spurweite	1067 mm
Größte Geschwindigkeit	50 km
Kleinste Krümmung	100 m
Zylinderdurchmesser	H 340 mm N 520 „
Kolbenhub	510 „
Raddurchmesser	1100 „
Heizfläche	135 qm
Rostfläche	2,0 qm
Raum für Wasser	6000 l
„ „ Kohle	2000 kg
Leergewicht	45750 „
Dienstgewicht	59200 „

KURVENBEWEGLICHE LOKOMOTIVEN, BAUART KLIEN-LINDNER. Bei dieser Bauart wird die Kurvenbeweglichkeit dadurch erreicht, daß bei dreiachsigen Lokomotiven eine Endachse, bei vier- und fünffach gekuppelten Maschinen die beiden Endachsen als Hohlachsen ausgebildet werden. Die Lokomotivlast und die bewegende Maschinenkraft werden von einer wie gewöhnlich im Hauptrahmen gelagerten Kernachse aufgenommen und von dieser auf eine mit den Rädern fest verbundenen Hohlachse übertragen, in welcher die Kernachse mittels Kugelzapfens und zweiteiliger Lagerschale drehbar und verschiebbar gelagert ist. (Abbildung 17.)

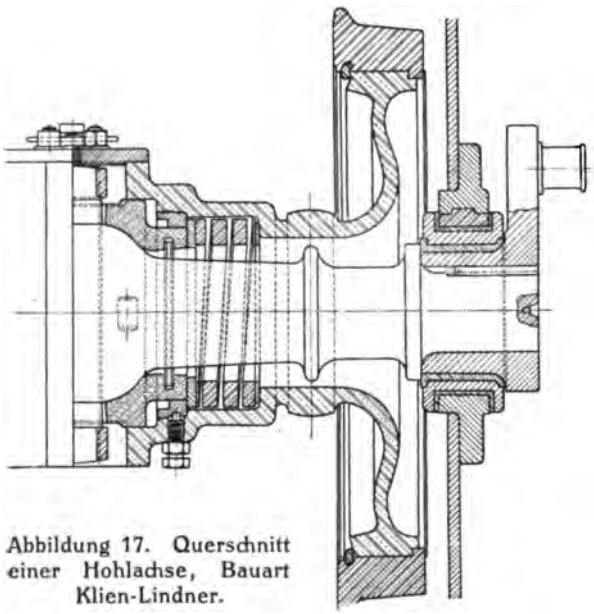


Abbildung 17. Querschnitt einer Hohlachse, Bauart Klien-Lindner.

Auf diese Weise wirken die Endachsen, obwohl gekuppelte Triebachsen, als freie Lenkachsen, die mit einer Rückstellvorrichtung verbunden sind, oder sie sind durch Lenker miteinander zwangläufig verbunden.

Auch können bei vierachsigen Lokomotiven noch die Mittelachsen seitlich verschiebbar hergestellt und dann je eine Mittelachse mit einer Endachse zu einem Gestell vereinigt werden, wodurch eine zwangläufige richtige Einstellung des Fahrzeugs in der Gleiskrümmung gesichert ist.

Ein Beispiel für eine derartige moderne Ausführung kann nachstehende Lokomotive geben, die für die Beförderung schwerer Güterzüge auf schmalspurigen Bahnen mit schwierigen Geländeverhältnissen gebaut und imstande ist, Krümmungen bis herab zu 25 m Halbmesser ohne Zwängen zu durchfahren. (Abbildung 18.)

D T L

Zulässige größte Geschwindigkeit	30 km
Zylinderdurchmesser	340 mm
Kolbenhub	400 „
Raddurchmesser	810 „
Dampfdruck	13 atm
Heizfläche	60 qm
Rostfläche	1,0 „
Kleinster Krümmungshalbmesser	25 m
Spurweite	785 mm
Raum für Speisewasser	2500 l
Raum für Brennmaterial	1500 „
Leergewicht	23 500 kg
Dienstgewicht	30 000 „

Abbildung 18. D-Tenderlokomotive mit Hohlachsen nach Bauart Klien-Lindner.

Die obige Bauart hat sich bezüglich geringen Eigenwiderstandes, großer Dauer der Radreifen und Sicherheit gegen Entgleisen gut bewährt. Die Kompliziertheit der Hohlachsen hat zu besonderen Nachteilen im Betriebe nicht geführt, so daß diese Bauart eine ziemlich große Verbreitung gefunden hat.

STRASZENBAHN-LOKOMOTIVEN. Eine besondere Abart der dem öffentlichen Verkehr dienenden Kleinbahnen bilden die Straßenbahnen. Wenn auch bei diesen, besonders in Deutschland, fast ohne Ausnahme der Dampfbetrieb ersetzt worden ist durch elektrischen Betrieb, so gibt es doch noch, zum Beispiel in Holland, Italien, Südamerika usw., eine große Anzahl von Straßenbahnen mit Dampfbetrieb.

Abbildung 19. Straßenbahnlokomotive.

Für diese Betriebe haben sich besondere Bauarten von Lokomotiven herausgebildet, die sich dadurch kennzeichnen, daß das Führerhaus über die ganze Länge der Maschine reicht, und daß das Triebwerk entweder durch seitlich herunterhängende Blechschürzen verkleidet oder durch vollständige Blechkästen staubdicht eingekapselt ist. Dadurch erhält die Lokomotive ein mehr wagenartiges Aussehen, das sich besser dem Straßenbetriebe anpaßt als die gewöhnliche Dampflokomotive. Der Führer hat seinen Stand entweder seitlich vom Kessel oder zur noch besseren Übersicht über besonders belebte Strecken in jeder Fahrtrichtung vor dem Kessel stehend. Alle diese Lokomotiven sind Tenderlokomotiven, mit zwei oder drei, seltener vier gekuppelten Achsen; Tragachsen finden sich fast nie, da es sich stets nur um verhältnismäßig geringe Geschwindigkeiten handelt, während die Ansprüche an die Zugleistung verhältnismäßig hohe sind, weil der Staub, der Straßenschmutz, das häufige Anhalten und Anfahren in hohem Maße anstrengend wirken.

C-Straßenbahnlokomotive. (Abbildung 19.)

Zulässige größte Geschwindigkeit	35 km
Kleinster Krümmungshalbmesser	30 m
Zylinderdurchmesser	280 mm
Kolbenhub	360 „
Raddurchmesser	850 „
Dampfdruck	14 atm
Heizfläche	28 qm
Rostfläche	0,79 m
Spurweite	1445 mm
Raum für Speisewasser	2000 l
Raum für Brennmaterial	500 „
Leergewicht	14000 kg
Dienstgewicht	18000 „

ZAHNRAD-LOKOMOTIVEN. Auf Hauptbahnen wird als praktisch brauchbare Grenze eine höchste Steigung von 25 v. T. angesehen; im hügeligen Gelände, wo keine durchgehenden Schnellzüge zu befördern sind, steigt das Verhältnis auf 40 v. T.

Nebenbahn- und Kleinbahnstrecken weisen auch noch stärkere Steigungen auf, mit reinem Reibungsbetriebe, und zwar kommen hier noch Steigungen vor von 60, ausnahmsweise sogar 70 v. T. Indessen erfordern derartig hohe Steigungen schon besondere Vorkehrungen und große Aufmerksamkeit in der Bedienung der Lokomotiven, um ein Schleudern und Gleiten derselben zu verhüten. Auch können auf derartigen Steigungen nur noch verhältnismäßig sehr geringe Lasten befördert werden, weil die Lokomotive zur Hinaufschaffung ihres eigenen Gewichts bereits den größeren Teil ihrer aus dem Reibungsgewicht zu erzielenden Zugkraft benötigt. Wo es sich also um die Beförderung größerer Zuglasten auf Steigungen von mehr als 50 v. T. handelt, wird man stets Zahnstangenstrecken einschalten; anderseits müssen derartige Zahnstangenstrecken auf Linien vermieden werden, wo sich ein durchgehender Schnellzugbetrieb abwickelt, denn die Zahnstange erlaubt nur eine sehr geringe Geschwindigkeit, und das Ein- und Ausfahren von dieser Strecke erfordert besondere Vorkehrungen — Ein- bzw. Ausfahrtstrecken — und besondere Aufmerksamkeit.

Die Verschiedenheit der Betriebe auf Bergbahnen mit Zahnstangenstrecken bedingt auch verschiedenartige Anordnung der Triebwerke und Bauarten; nach der grundlegenden Ausgestaltung der Triebwerke lassen sich vier Gruppen von Zahnradlokomotiven unterscheiden und zwar: a) Lokomotiven, welche nur durch das Zahnrad an der Zahnstange fortbewegt werden, die also im übrigen nur Tragräder besitzen. Bei dieser Bauart wird das Zahntriebrad gewöhnlich von der schneller laufenden Kurbelwelle mittels Räderübersetzung angetrieben. Diese zuerst von Riggenbach bei der Rigibahn angewendete Bauart eignet sich für Bahnen, welche mit starken, wenig wechselnden Steigungen, auf denen nur Zahnstangenbetrieb in Frage kommen kann, auf hochgelegene Aussichtspunkte führen und verhältnismäßig geringe Lasten zu befördern haben. Aus dieser Bauart entwickelte sich b) die Zahnradlokomotive, an welcher sämtliche Tragräder oder ein Teil derselben mit der wie bei a) angetriebenen Zahnradachse durch Kurbeln und Stangen gekuppelt sind, die sich also sowohl auf Reibungsstrecken wie auch auf der Zahnstangenstrecke fortbewegen können, wenn auch auf Reibungsstrecken infolge der Zahnräderübersetzung nur mit geringer Geschwindigkeit. Diese Gattung b) eignet sich demnach für Bahnen, bei denen starke Steigungen mit schwachen Steigungen und wagerechten Strecken abwechseln.

Für Bahnstrecken wie die unter b), auf denen jedoch infolge Personenverkehrs mit größerer Geschwindigkeit gefahren werden muß, hat sich dann die Zahnradlokomotive, Bauart c) entwickelt. Bei dieser sind die Zahnradachsen mit den in gewöhnlicher Weise angetriebenen Reibungstriebachsen durch Kurbeln und Kuppelstangen verbunden, ohne Einschaltung einer Zahnräderübersetzung. Auf Reibungsstrecken können diese Lokomotiven also mit größerer Geschwindigkeit als normale Dampflokomotiven fahren, wobei die Zahnradachse dann leer mitläuft.

Die neueste und vollkommenste Bauart von Zahnradlokomotiven ist jedoch die nach Bauart d), die, von Abt ausgearbeitet, sowohl für die Zahnräder als für die Reibungstriebräder völlig voneinander unabhängige Dampfmaschinen hat, also auf glatten Strecken ebenfalls wie eine gewöhnliche Dampflokomotive fahren kann unter Ausschaltung der Zahnradtriebmaschine, während auf der Zahnradstrecke beide Triebmaschinen in Tätigkeit treten. Diese Bauart entspricht deshalb allen Anforderungen des Vollbahnbetriebes und wird überall da angewendet, wo es sich um größere Verkehrsmassen handelt.

Abbildung 20. C 1-Zahnradlokomotive für gemischten Betrieb der preußischen Staatsbahnen.

C 1-Z T L (preußische Staatsbahnen). (Abbildung 20.)

Spurweite	1435 mm
Anzahl der Reibungstriebräder	6
„ „ Zahnradtriebräder	4
Durchmesser der Reibungsdampfzylinder	470 mm
„ „ Zahntriebwerksdampfzylinder	420 „
Kolbenhub Reibungstriebwerb	500 „
Kolbenhub Zahnradtriebwerk	450 „
Durchmesser der Reibungstriebräder	1080 „
„ „ Zahntriebräder	688 „
Dampfdruck	12 atm
Art der Zahnstange	Abt
Heizfläche	129,0 qm
Rostfläche	2,11 „
Leergewicht	48750 kg
Dienstgewicht	60720 „
Reibungsgewicht	45750 „
Zugkraft aus der Reibungsmaschine	7400 „
„ „ „ Zahnradmaschine	7600 „
Gesamte Zugkraft auf der Zahnstange	15000 „

Obige Lokomotive stellt den Typ dar, wie er zurzeit auf den preußischen Staatsbahnen im Betrieb ist. In den Bezirken der Königl. Eisenbahndirektionen Cöln, Mainz und Frankfurt a. M. befinden sich verschiedene mit Zahnstangen ausgerüstete Bahnstrecken, auf denen obige Lokomotivgattung den Zugdienst versieht. Diese Lokomotive kann auf der zwischen Boppard und Buchholz liegenden Zahnstangenstrecke mit einer Steigung von 60 v. T. und einer Länge von 6,27 km außer ihrem Eigengewicht einen Zug befördern von etwa 130 t bei 15 km stündlicher Geschwindigkeit.

Auch bei den Zahnradlokomotiven hat das Bestreben, die Wirtschaftlichkeit der Dampflokomotive zu erhöhen, zur weiteren Ausgestaltung dieser Bauarten geführt, und die modernste, leistungsfähigste Ausführung benutzt sowohl die Verbundwirkung des Dampfes als auch die Überhitzung. Die für die Reibungsmaschine erforderlichen Dampfzylinder liegen in üblicher Weise wagerecht vor den Kuppelachsen und treiben mittels Kurbeln und Kuppelstangen die Reibungstriebräder an. Über ihnen liegen

zwei weitere Dampfzylinder von genau gleichem Durchmesser, welche die Zahnradtriebachsen mittels eines Rädervorgeleges antreiben und mit dem Abdampf aus den Reibungszylindern betrieben werden. Diese Zahnradvorgelege haben einen solchen

Zahnstangen.

Bauart:

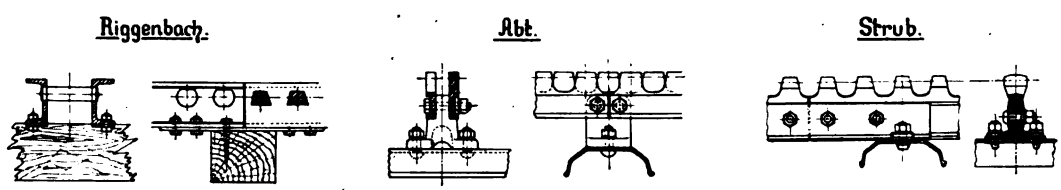


Abbildung 21. Die drei gebräuchlichsten Zahnstangenformen.

Durchmesser erhalten, daß beim gleichzeitigen Arbeiten beider Dampfmaschinen die Arbeit in beiden gleich ist. Da nun infolge dieser Zahnradübersetzung die Kolben der Zahntriebwerksdampfzylinder die doppelte Anzahl von Hüben machen müssen, so wird gerade beim Befahren der Zahnstrecke, wenn also die größte Leistung entwickelt werden muß, eine um so heftigere Anfachung des Kesselfeuers stattfinden und damit die Leistung des Kessels erheblich gesteigert. Zu dieser Verbundwirkung in den beiden Zylinderpaaren tritt bei den neuesten Ausführungen noch die Überhitzung des Dampfes, so daß eine vollkommene Ausnutzung des Brennstoffs und anderseits eine ganz enorme Steigerung der Leistungsfähigkeit der Zahnradlokomotive erreicht wird.

Vorstehende Skizzen zeigen die gebräuchlichsten Zahnstangenformen, von denen sich die Riggenbachsche, die Abtsche und im letzten Jahrzehnt in erster Linie die Strubsche Zahnstange weiterer Verbreitung erfreuen. (Abbildung 21.)

Die Zahnstange nach Riggenbach kennzeichnet sich dadurch, daß die einzelnen Zähne durch Sprossenstäbe von geeigneter Querschnittsform gebildet werden, welche in die senkrechten Schenkel zweier Winkel- oder [-Eisen genietet sind.

Die Abtsche Zahnstange besteht aus zwei oder drei Flacheisenlamellen, in welche die Zahnlücken eingeschnitten sind; diese Flacheisen liegen um die Hälfte bzw. um ein Drittel der Teilung versetzt nebeneinander, wodurch ein zwei- bis dreifacher Eingriff der Zahnräder und entsprechender ruhiger Gang erzielt wird. In den letzten Jahren hat sich die Zahnstange Strub eingeführt, die auf Grund ihrer Vorzüge bei allen neueren Bergbahnen der Schweiz zur Anwendung gelangt ist. Sie besteht aus einer gewalzten Schiene mit breitem Fuß und starkem Kopf, in welch letzteren die Zahnlücken eingefräst sind. Als Zahnform ist nur die Evolventenverzahnung brauchbar, da nur diese bei der unvermeidlichen Veränderlichkeit der Höhenlage der Zahnräder einen stets richtigen Eingriff ergibt. Sie hat dabei den Vorteil, daß die Zähne an der Stange gerade Flanken haben.

LOKOMOTIVEN FÜR INDUSTRIEZWECKE. Die größeren Industriewerke benötigen für ihre eigenen Betriebe Transportmittel verschiedener Art. Einmal sind für das Zusammenstellen der mit den Erzeugnissen der Betriebe beladenen Waggons zu einem Zuge, und das Befördern dieses Zuges auf dem stets vorhandenen Anschlußgleise Rangierlokomotiven notwendig, die meist normalspurig und je nach Größe der zu befördernden Last und den Steigungsverhältnissen der Bahnstrecke mehr oder weniger leistungsfähig sind. In Frage kommen hier ausnahmslos Tenderlokomotiven mit zwei oder drei gekuppelten Achsen, die in beiden Fahrtrichtungen

gleich gut arbeiten, also für das Verschieben der einzelnen Wagen geeignet sind. Mehr als drei gekuppelte Achsen trifft man bei diesen Rangierlokomotiven selten an, weil infolge des meist beschränkten Raumes auf den Werkhöfen die Krümmungen möglichst scharf gehalten sind. Diese gewöhnlichen normalspurigen Rangierlokomotiven entsprechen in ihrer Bauart den normalspurigen Nebenbahnlokomotiven, mit dem Unterschiede, daß bei ihnen noch mehr Wert auf große Zugkraft und vor allem große Anzugskraft gelegt wird, während die Geschwindigkeit keine Rolle spielt. Als Folge hiervon weisen die Rangierlokomotiven meist verhältnismäßig große Zylinderabmessungen und kleine Triebraddurchmesser auf, und die Kesselabmessungen sind ebenfalls verhältnismäßig klein; Verbundmaschinen und Heißdampf kommen für diese Verwendungszwecke nicht in Betracht, da sie nicht ausgenutzt werden können.

Dagegen haben sich andere Bauarten von Rangierlokomotiven für gewisse Betriebe entwickelt, welche entweder durch Kombination mit einem Hebezeuge als Kranlokomotiven oder durch Vermeidung eines eigenen Feuerherdes als feuerlose Lokomotiven den Rangierbetrieb wirtschaftlicher zu gestalten vermögen.

KRAN-LOKOMOTIVEN. Es handelt sich bei diesen Lokomotiven nicht um die bekannten fahrbaren Krane, auch Lokomotivkrane genannt, welche bei sehr beträchtlicher Hebekraft die Fähigkeit besitzen, sich vermittelst Zahnräderübersetzung, die von der Kranmaschine angetrieben werden, mit geringer Geschwindigkeit fortzubewegen und auch noch einige angehängte Wagen mitzunehmen, die also in erster Linie als Hebezeuge dienen. Die Kranlokomotive ist vielmehr in erster Linie Rangierlokomotive, die den Verschiebedienst auf den Werkhöfen und deren Anschlußgleisen an die

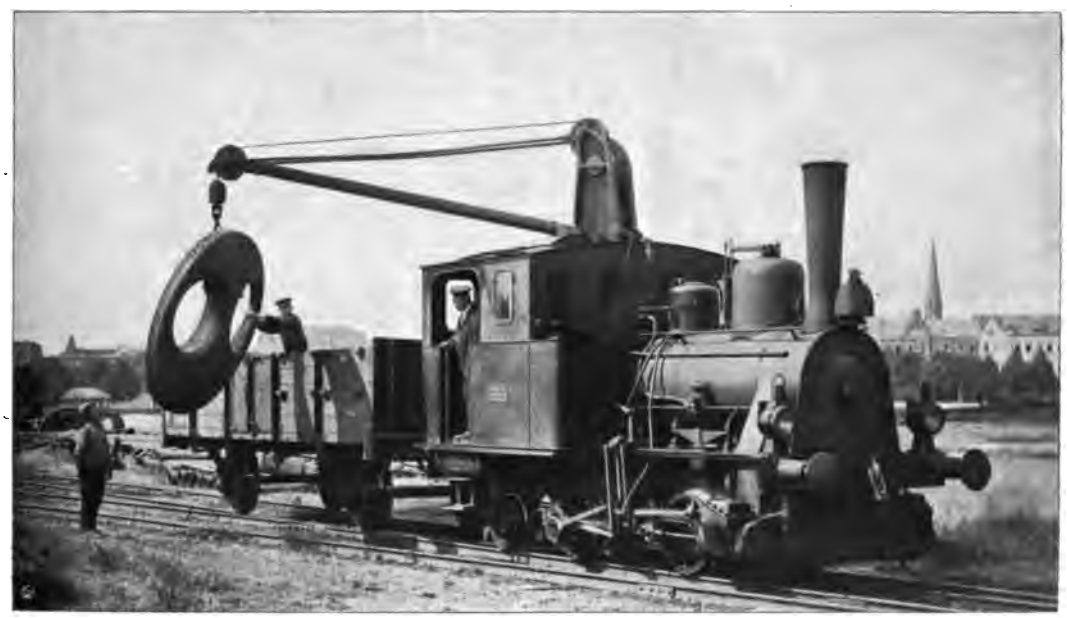


Abbildung 22. B 1-Kranlokomotive.

Staatsbahnen in der gewöhnlichen Weise vermittelt, außerdem aber durch die Anbringung eines Hebemechanismus befähigt ist, schwere Werkstücke von einer Werkstatt zur anderen zu befördern, ohne das zeitraubende Umladen auf Wagen. Außerdem besorgt sie zugleich mit dem Verschieben der Wagen in den einzelnen Teilen des Werkhofes das Ausladen bzw. das Um- und Beladen dieser Wagen, und zwar

kann sie diese Arbeiten an jeder beliebigen Stelle des Werkhofes vornehmen, zu der ein Schienengleis führt, so daß die ganze Verladetätigkeit nicht mehr wie bei Benutzung eines besonderen Verladekrans an eine bestimmte Stelle gebunden ist.

Unter den verschiedenen Bauarten derartiger Kranlokomotiven zeichnet sich die in Abbildung 22 abgebildete durch Zweckmäßigkeit und Leistungsfähigkeit aus.

Kranlokomotive. (Abbildung 22.)

Zylinderdurchmesser	280 mm
Kolbenhub	400 „
Treibraddurchmesser	800 „
Dampfdruck	12 atm
Heizfläche	38 qm
Rostfläche	0,68 „
Leergewicht einschließlich Kran	21500 kg
Dienstgewicht	26500 „
Ausladung des Kranarmes	5 m
Größte Hebelast	3000 kg
Spurweite	1435 mm

Bei dieser Lokomotive ist ein besonderes Gegengewicht vermieden, dessen Mitschleppen beim normalen Verschiebedienst unwirtschaftlich ist, und das Eigengewicht der Lokomotive dient als Gegengewicht gegen das Umkippen bei seitlich ausgelegtem Arm mit angehängter Last. Im vorstehenden Beispiel ergibt sich ein Kippmoment der Last zu $3000 \cdot 5 = 15000$ m-kg, während das entgegengesetzt wirkende Moment des Lokomotivgewichts $25000 \cdot 0{,}71 = 17750$ m-kg beträgt, also in der Tat noch genügenden Überschuß aufweist, um der Gefahr des Umkippens bei angehängter Last vorzubeugen. Die allgemeine Anordnung ist die folgende: Ein bockartiges Gestell umschließt den Feuerkasten und stützt sich auf den Rahmen. Dieses Gestell trägt auf der rechten Seite eine zweizylindrige Dampfmaschine, welche mittels doppelten Zahnrädervorgeleges die Seiltrommel bewegt und dadurch das Heben und Senken der Last hervorruft. Auf der linken Seite des Bockgestells oberhalb des Kohlenkastens ist eine zweite, ebenfalls zweizylindrige Dampfmaschine angeordnet, welche mittels Schnecke und Schneckenrad das Drehen des Kranarmes bewirkt. Die Handgriffe zum Anlassen beider Dampfmaschinen sind doppelt, und zwar sowohl auf der rechten wie auf der linken Maschinenseite angeordnet, damit der Führer beim Umladen von einer Seite nach der anderen die Bedienung des Krans in der Hand hat und die Last beobachten kann. Die übrigen zur Bedienung der Lokomotive erforderlichen Handgriffe sind in auch sonst allgemein üblicher Weise angeordnet, so daß dem Führer in dieser Beziehung keine neuen Aufgaben gestellt werden. Der ganze Mechanismus für den Kran liegt innerhalb des Führerhauses und ist damit den schädlichen Einflüssen der Witterung entzogen; bewegliche, schwer dicht zu haltende Dampfrohre sind vermieden, so daß die vorstehend beschriebene Bauart als sehr zweckentsprechend anzusehen ist.

Die Hebelast ist naturgemäß mit Rücksicht auf die Sicherheit gegen Umkippen eine beschränkte und erfordert bei Erhöhung der Last auch eine entsprechend schwerere Maschine; im Betriebe sind derartige Kranlokomotiven für Hebelasten bis zu 5000 kg.

FEUERLOSE LOKOMOTIVEN. Eine andere Gattung von Verschiebelokomotiven für industrielle Zwecke sind die feuerlosen Lokomotiven, die im letzten Jahrzehnt eine große Verwendung gefunden haben. Das System der feuerlosen Lokomotive

stammt bereits aus den achtziger Jahren, hatte jedoch bis Beginn des 20. Jahrhunderts nur eine sehr beschränkte Verwendung gefunden, einmal weil sie in dem zuerst von ihr beanspruchten Verwendungsgebiete, nämlich für Lokal- und Straßenbahnen, bald von dem elektrischen Betriebe verdrängt wurde, dann auch weil ihre Ausbildung noch zu wünschen übrigließ. Neuerdings ist sie aber für viele Betriebe ein geradezu unersetzliches und unerreicht billiges Transportmittel geworden, das erhebliche Vorzüge für gewisse, allerdings engbegrenzte Verwendungszwecke besitzt.

Abbildung 23. B-feuerlose Lokomotive.

Die feuerlose oder Heißwasser-Lokomotive ist eine Akkumulatorenmaschine, deren Kraftvorrat in einer über den Siedepunkt hinaus erhitzten Wassermenge besteht, deren Temperatur also einem gewissen Dampfüberdruck entspricht und die den Dampf für die sonst ganz wie eine gewöhnliche Lokomotive konstruierte Maschine liefert. Da naturgemäß in Ermangelung einer Feuerung die Dampfbildung nur auf Kosten der im Wasser enthaltenen Wärme geschieht, nimmt bei fortgesetzter Dampfentnahme die Temperatur und damit der Dampfdruck allmählich ab, und die Maschine fährt mit abnehmendem Druck.

Die Dampferzeugung vollzieht sich bei diesem System in gewöhnlichen ortsfesten Dampfkesseln; dieser Dampf wird in den zu etwa $^3/_4$ seines Rauminhalts mit Wasser gefüllten Behälter der Lokomotive geleitet, schlägt sich in dem kälteren Wasser dieses Behälters nieder und gibt seine Wärme so lange ab, bis im ortsfesten Kessel und im Behälter nahezu die gleiche Temperatur, also auch der gleiche Druck herrscht.

Das ist die genaue Umkehrung des Vorganges des Verdampfens während der Arbeit der Maschine, und daraus folgt, daß, abgesehen von etwaigen Wasserverlusten durch Undichtigkeiten und dergleichen, der Wasserstand im Behälter nach der Füllung immer wieder der gleiche sein wird, ohne daß Wasser als solches eingeleitet wird.

Aus obigem geht hervor, daß die feuerlose Lokomotive weniger geeignet ist für den Dienst auf langen Strecken, auf denen sie sich weit von ihrer Kraftstation, der ortsfesten Kesselanlage, entfernt oder für regelmäßigen Bahndienst, der an das Einhalten genauer Fahrzeiten gebunden ist, als vielmehr für den Verschiebedienst auf Industriegleisen und für das Befördern von Lasten auf kürzeren Strecken. Sie wird sowohl für schmalspuriges wie auch für normalspuriges Gleis gebaut und hat speziell für letzteres recht beachtenswerte Abmessungen erhalten, die der Lokomotive ein vier- bis fünfstündiges ununterbrochenes Rangieren mit größeren Zugeinheiten gestatten. (Abbildung 23.)

Wie obige Abbildung zeigt, unterscheidet sich die feuerlose Lokomotive von der gewöhnlichen Dampflokomotive nur durch die Bauart des Kessels, mit welcher das

Fehlen des Schornsteins, der Speisevorrichtungen usw. zusammenhängt. Daß die Dampfzylinder am hinteren Maschinenende angeordnet sind, ist eine rein konstruktive Maßnahme, um eine gute Gewichtsverteilung auf die Lokomotivachsen zu erreichen, mit Rücksicht darauf, daß der Wasserbehälter etwas nach vorn über die Mitte hinausgeschoben werden muß, um für den Führerstand Platz zu schaffen.

Besondere Rücksicht erfordert der Schutz des Behälters gegen Wärmeverluste durch Ausstrahlung, denn ein solcher ist naturgemäß verbunden mit einer Verringerung der Leistung der Lokomotive und somit mit einer häufigeren Nachfüllung, also einer häufigeren Unterbrechung des Betriebes. Durch entsprechende Ausgestaltung der Kesselbekleidung ist es erreicht, daß beim Stillstande der Lokomotive der Spannungsverlust infolge Wärmeausstrahlung bis auf 1/4—1/5 atm für die Stunde bei mittlerer Außentemperatur heruntergedrückt werden konnte. Je nach dem Fassungsraum des Behälters der Lokomotive und nach dem die nutzbare Arbeit hergebenden Spannungsverluste können mit feuerlosen Lokomotiven Gesamtleistungen von 5—60 P. S./st erreicht werden. Der ständig sinkenden Dampfspannung Rechnung tragend, werden die Durchmesser der Dampfzylinder verhältnismäßig groß gewählt, so daß bei 3 bis 4 atm Überdruck im Behälter noch das volle Reibungsgewicht der Lokomotive ausgenutzt werden kann, während sie selbst sich noch bei 1/2 atm Überdruck zur Füllstelle fortzubewegen imstande ist. Zur Neuauffüllung des Behälters sind bei zweckentsprechend ausgebildeten Füllanschlüssen je nach Größe des Behälters 5—15 Minuten erforderlich einschließlich des An- und Abkuppelns an die Dampfzuleitung der ortsfesten Kesselanlage. Die Vorzüge der feuerlosen Lokomotive lassen sich in nachstehenden Sätzen zusammenfassen: Vollständige Sicherheit gegen Brandstiftung durch Funkenauswurf; daher geeignet in erster Linie für feuergefährliche Betriebe, für Sägemühlen, Pulver- und Sprengmittelfabriken, für den Verschiebedienst in geschlossenen Räumen. Unerreichte Billigkeit im Betriebe: der Dampf in der stationären Kesselanlage läßt sich unverhältnismäßig billiger als im gewöhnlichen Lokomotivkessel erzeugen; ein gewöhnlicher Arbeiter kann die wenigen zur Bedienung des Kessels erforderlichen Handgriffe verrichten und wird nur dann gebraucht, wenn die Lokomotive in Tätigkeit ist. Fortfall der kostspieligen Reparaturen und gesetzlich vorgeschriebenen Untersuchungen des Dampfkessels: nach Lösen eines einfachen Mannlochdeckels ist der Kessel ohne weiteres befahrbar. Wenn die Lokomotive während einiger Stunden nicht gebraucht wird, bedarf sie keiner Wartung, sondern kann ohne Aufsicht stehengelassen werden, ist aber selbst nach stundenlangem Warten ohne weiteres wieder verwendungsbereit, daher in erster Linie für intermittierenden Betrieb geeignet.

LOKOMOTIVEN FÜR TRANSPORTBAHNEN. In dieses Gebiet entfallen endlich alle die verschiedenartigsten Lokomotivbauarten für die Verwendung bei Erdtransporten, bei Eisenbahn- und Tunnelbauten, Abraumarbeiten für Braunkohlenwerke, Holztransporte bei Waldbahnen, Materialtransporte für Ziegeleien, Plantagen und sonstige industrielle Werke. Die Mannigfaltigkeit dieser Bauarten ist eine außerordentlich große und wird bedingt durch die Verschiedenheit der Spurweiten, des Oberbaues, des Durchfahrtprofils und der Betriebsverhältnisse. Durchweg kommen hier Tenderlokomotiven mit zwei, drei oder vier gekuppelten Achsen in Frage, zu denen bei schwierigen Bahnverhältnissen eine oder mehrere Laufachsen kommen. Bei diesen Baulokomotiven hat sich die Bezeichnung nach P. S. eingebürgert, obwohl dieses Maß hier wenig zutreffend erscheint und keinen Anspruch auf wissenschaftliche Genauigkeit machen kann. Ein Vergleich der Leistungen einer feststehenden Betriebsdampf-

maschine und einer Lokomotive ist eben nicht ohne weiteres statthaft, weil die Leistung der Lokomotive ständig sich ändert mit der Geschwindigkeit, den Steigungsverhältnissen der Bahnstrecke, dem Zustand des Gleises, dem Wetter, der größeren oder geringeren Geschicklichkeit des Maschinenpersonals und anderen von der Lokomotive unabhängigen Faktoren.

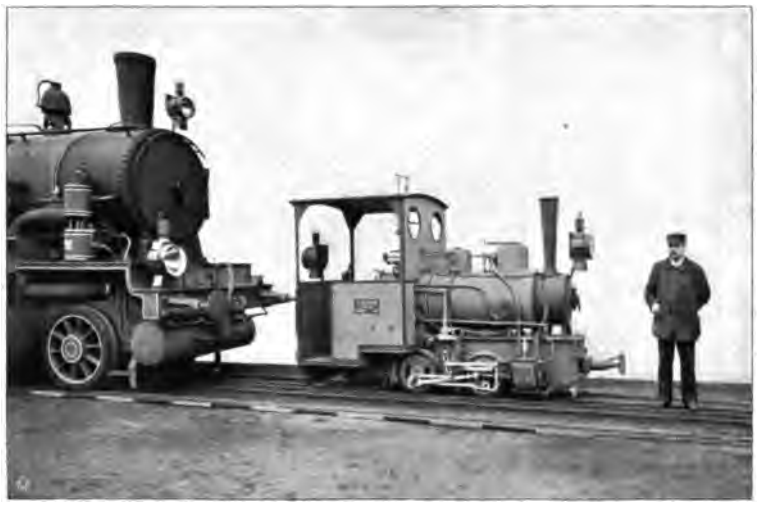


Abbildung 24. 10 P.S.-Baulokomotive.

Auch für die Berechnung der Zugleistung von Baulokomotiven sind im allgemeinen andere Gesichtspunkte maßgebend als bei den Lokomotiven für Voll- und Nebenbahnen. In den meisten Fällen wird das Gleis, weil für vorübergehenden Betrieb bestimmt, nicht mit der gleichen Sorgfalt verlegt wie bei Bahnanlagen für dauernden Betrieb. Die Gleise werden unmittelbar dem Gelände angepaßt, Ausgleich von Steigungen nur in den seltensten Fällen vorgenommen, so daß es bald bergauf, bald bergab geht. Meist fehlt auch der erforderliche Platz, um einigermaßen ausreichende Krümmungshalbmesser vorsehen zu können, so daß diese Lokomotiven Kurven zu befahren haben, die sonst kaum vorkommen. Alle diese Punkte stellen an die Leistungsfähigkeit der Lokomotive sehr starke Forderungen, und es muß hier mit wesentlich höheren Widerständen gerechnet werden.

Da ferner in den meisten Fällen die Geschwindigkeit nur gering zu sein braucht, ergibt sich als Hauptforderung für die Baulokomotive: große Zylinder und kleine Raddurchmesser. Da ferner das Führerpersonal meistens nicht die eingehende Ausbildung genossen hat, wie es bei Vollbahnbetrieben der Fall ist, ergibt sich als weitere Forderung einer guten Baulokomotive möglichste Einfachheit in allen Einzelteilen, um die Bedienung und Instandhaltung zu erleichtern. Da im Interesse sparsamen Betriebes die Baulokomotive nur von einem Manne bedient wird, der Führer und Heizer in sich vereinigt, so müssen die Einzelteile des Triebwerks leicht zugänglich sein und ständig beobachtet werden können. Die Baulokomotive hat den früheren Pferdebetrieb fast gänzlich verdrängt, da sie erheblich wirtschaftlicher arbeitet und zuverlässiger ist.

Es gibt heute bereits Tiefbaufirmen, die über einen Lokomotivpark von fünfzig Baulokomotiven und mehr verfügen. Als kleinste Dampflokomotive, die wirtschaftlich noch anwendbar ist, gilt die 10 P.S.-Lokomotive mit einem Dienstgewicht von 4000 kg, während die Grenze nach oben abhängt von der Spurweite und der Tragfähigkeit des Gleises (Abbildung 24).

Diese Baulokomotiven werden als Marktware hergestellt, und namhafte Firmen unterhalten ständig ein großes Vorratslager der gebräuchlichsten Größen und Bauarten, um auf Abruf sofort liefern zu können. Die obige Abbildung zeigt die Unterschiede in den Größenverhältnissen einer 10 P.S.-Baulokomotive und der Personenzug-

Tenderlokomotive der preußischen Staatsbahnen (Abbildung 10) und illustriert so die außerordentliche Verschiedenartigkeit der Dampflokomotive, hervorgerufen durch den jeweiligen Verwendungszweck.

2. DIE ELEKTROBAHN

Das erste Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts hat den elektrischen Bahnen einen enormen Aufschwung gebracht und das Anwendungsgebiet, das sich bis Ende des vorigen Jahrhunderts in der Hauptsache auf die Lokal- und Straßenbahnen beschränkte, so wesentlich erweitert, daß zurzeit bereits mit der Elektrifizierung von Vollbahnen sowohl für Güter- als Schnellzugverkehr begonnen werden konnte. Mit der Einführung der Elektrizität bei den Vollbahnen sind naturgemäß auch die Forderungen an die Leistung der Elektromotore um das Vielfache größer geworden und haben neue Ausführungsformen sowohl der Motore als der Betriebsmittel gezeitigt.

STADT-SCHNELLBAHNEN. Für die Stadt- und Straßenbahnen konnte, soweit es sich nicht um außergewöhnlich hohe Verkehrsleistungen handelte, der seit Einführung des elektrischen Betriebes bewährte Gleichstrommotor mit einer Spannung von 500—600 Volt genügen, in der Form, wie er von W. v. Siemens zuerst bei der Ausstellungsbahn der Berliner Gewerbeausstellung 1879 verwendet wurde, die als die Geburtsstätte der heutigen elektrischen Eisenbahnen angesehen werden kann.

Mit der sehr schnell fortschreitenden Aufschließung der weiter vom Stadtzentrum belegenen Ortschaften und dem Anschluß derselben an das städtische Bahnnetz stiegen auch sehr schnell die Leistungen der Straßenbahnmotore, zu deren Erhöhung man allmählich auf 700 und 750 Volt ging, welche Spannung die Grenze für die Verwendung des Gleichstrommotors bildete. An eine Verwendung desselben für lange Überlandstrecken und insbesondere für den Vollbahnbetrieb war nicht zu denken, denn beim Betriebe mit dritter Schiene als Stromzuleitung muß man unter 1000 Volt bleiben wegen der Berührungsgefahr, und bei Oberleitung bilden die Motoren mit 1500—2000 Volt bald die Grenze, und auch wirtschaftlich würde die Zuführung so hoher Stromstärken nicht mehr durchführbar sein.

Ein gutes Beispiel einer Überlandbahn mit Gleichstrom von allerdings nur kurzer Bahnstrecke und beschränkter Leistung bietet die staatliche Vorortbahn Berlin—Groß-Lichterfelde-Ost. Die Strecke ist 9 km lang und wird gespeist vom Kraftwerk Süd-

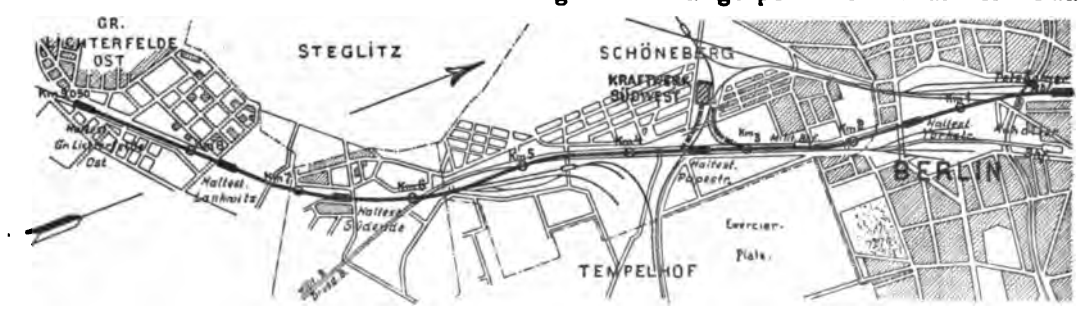


Abbildung 25. Lageplan der elektrischen Vorortbahn Berlin-Großlichterfelde-Ost.

West (Abbildung 25) in der Nähe der Station Papestraße mit Gleichstrom von 650 Volt Fahrleitungsspannung, der durch eine dritte Schiene zugeführt wird.

Obwohl hier der Triebwagenbetrieb mit kurzen Zügen bis 200 t Gewicht durchgeführt wird und der Betrieb an sich nichts zu wünschen übrigläßt, ist die Grenze der Leistungsfähigkeit dieser Bahn doch bereits erreicht.

Würde man diese Bahn noch weiter verlängern wollen, so müßte man (nach Reichel) bereits etwa in Groß-Lichterfelde ein Drehstrom-Gleichstrom-Umformer-Unterwerk bauen und dann den entfernter gelegenen Bahnstrang von diesem Unterwerk aus

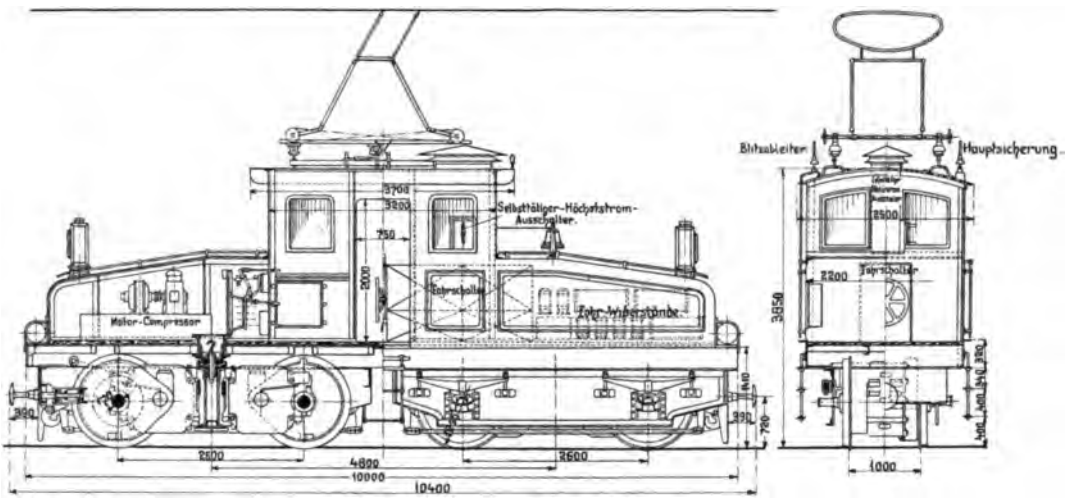


Abbildung 26. Vierachsige Gleichstromlokomotive für 2000 Volt Gleichstrom der Moselhüttenbahn.

betreiben, das zum Zwecke der Erzielung kleiner Übertragungsverluste von einem größeren Kraftwerke hochgespannten Wechsel- oder Drehstrom erhalten würde. Bei weiteren Verlängerungen der Bahnstrecke oder bei Verstärkungen des Verkehrs würde eine große Anzahl solcher Unterwerke — etwa alle 3—5 km — notwendig werden, was durchaus unwirtschaftlich und kompliziert werden müßte.

Eine Erhöhung der Fahrleitungsspannung bis nahe an 1000 Volt würde zwar den Speisebereich etwas vergrößern, aber auch bald die Grenze erreichen.

Auf dem Kontinent ist daher die Köln-Bonner Kreisbahn der einzige mit Gleichstrom und Fahrdrahtleistung für 1000 Volt eingerichtete Betrieb geblieben. Der Betrieb wird hier mit Blockzügen geführt, die aus je einem Motorwagen an der Spitze und dem Ende und zwei Anhängern in der Mitte bestehen und ein Gewicht von insgesamt 160 t besitzen. Die größte Geschwindigkeit beträgt 60 km, und das Kraftwerk liegt ungefähr in der Mitte der 28 km langen Strecke.

Ebenso vereinzelt ist der für 2000 Volt Gleichstrom eingerichtete Betrieb der Moselhüttenbahn Maizières—St. Marie geblieben für größere Zugleistungen und kürzere Ausdehnung der Bahnstrecke. (Abbildung 26.)

Ähnlich liegen die Verhältnisse auch in Italien, wo es zurzeit nur eine Gleichstromvollbahn Mailand—Gallarate—Varese gibt, die mit dritter Schiene betrieben wird. Die Stadtschnellbahnen in den Vereinigten Staaten werden in der Mehrzahl mit Gleichstrom betrieben, wohl hauptsächlich deshalb, weil sie zu einer Zeit entstanden, als bahntechnisch der Gleichstrom das Feld behauptete. Für die Übertragung der elektrischen Arbeit vom Kraftwerk zu den Speisepunkten des Bahnnetzes wurde der Drehstrom gewählt, der einmal als Wechselstrom eine beliebig hohe Übertragungsspannung zuläßt und dann unter den Wechselstromarten die wirtschaftlichste Übertragung ermöglicht. An den Hauptspeisepunkten wird der Drehstrom mittels Umformermaschinen in Gleichstrom umgewandelt. Die neueste Stadtschnellbahn New Yorks, der McAdoo-Tunnel, wird ebenfalls mit Gleichstrom betrieben und verfügt über ein eigenes

Bahnnetz und Kraftwerk, in dem ebenfalls Drehstrom erzeugt wird, der dann in Unterwerken mittels Umformer in Gleichstrom umgeformt wird.

Aber auch diese Beispiele bestätigen nur das über die Grenze der Leistungsfähigkeit der Gleichstrombahnen vorher Gesagte, denn auch hier handelt es sich immer nur um kurze Strecken und kleine Zugeinheiten.

Ein Gebiet dagegen, auf dem der Gleichstrombetrieb mit dritter Schiene auch für Vorortbahnen mit dichtem Verkehr und großen Energiemengen mit Vorteil angewendet wird und auch in Zukunft Verwendung finden wird, ist das der Hoch- und Untergrundbahnen.

Allerdings werden auch hier nur kurze Gleislängen bis 20 km mit Gleichstrom gespeist und kleinere Zuglasten befördert werden können. Auf der Berliner Hoch- und Untergrundbahn werden einfache Vierwagenzüge im Gewichte von rund 90 t, und Doppelzüge von rund 180 t mit 50 km Geschwindigkeit gefahren. Der im Kraftwerk erzeugte Drehstrom von 10000 Volt Spannung versieht die verschiedenen Umformerwerke mit elektrischer Kraft, die den Strom auf 780 Volt umformen.

Bei der kürzlich eröffneten Nord-Südbahn in Paris hat der Strom für die Zugbeförderung 600 Volt Spannung zwischen jedem der beiden Stromleiter und der Fahrschiene. Die Energie wird den Motorwagen durch die Oberleitung, welche in der Achse der Bahn angeordnet ist, und durch eine seitliche Schiene zugeführt, analog der beim „Métro" angewandten. Jeder Zug erhält zwei Motorwagen, wovon der eine durch die Oberleitung, der andere durch die seitliche Schiene gespeist wird, so daß die Stärke des Stromes, der durch die Fahrschiene nach der Unterstation zurückgeleitet wird, gleich Null ist und jede elektrolytische Beschädigung der Gleise und sonstigen Bahnanlagen ausgeschlossen ist.

Außer den Hoch- und Untergrundbahnen gibt es noch ein Gebiet von Vollbahnen, und zwar solcher, vorwiegend staatlicher, Vollbahnen, bei denen der Verkehr noch nicht groß genug ist, und wo eine gewisse Art von Gleichstrombetrieb auch für die Zukunft noch vorteilhaft Anwendung findet, nämlich das Gebiet der Akkumulatorentriebwagen (Abbildung 27). Die Akkumulatorenbatterie ist vorn untergebracht, leicht revidierbar, für Reparaturen herausnehmbar. Die übrigen Teile der elektrischen Ausrüstung sind in üblicher Weise im Führerstand bzw. unter dem Wagenkasten untergebracht.

Der Betrieb mit solchen Akkumulatorenwagen gestaltet sich ungebundener, als wenn Dampfzüge, bestehend aus einer Lokomotive und zwei Wagen gebildet werden müßten. Der Betrieb kann auf jeder beliebigen Strecke vor sich gehen, wo man ein selbständiges Kraftwerk mit Verbrennungsmotoren oder ein Drehstrom-Gleichstrom-Unterwerk zum Aufladen der Akkumulatoren zur Verfügung hat.

In Deutschland haben besonders die preußischen Staatsbahnen derartige Akkumulatorenwagen in größerem Umfange eingeführt und sie in ziemlich gleichem Umfange auf die einzelnen Direktionsbezirke verteilt; Anfang 1912 wurden etwa 4600 km Gleis mit diesen Triebwagen befahren. Die Ergebnisse dieses Betriebes mit Gleichstrom und Akkumulatorenwagen waren in technischer Hinsicht wohl zufriedenstellend, jedoch scheint dieses nicht der Fall zu sein in wirtschaftlicher Hinsicht, denn die Akkumulatoren erforderten sehr bedeutende Unterhaltungskosten, und es scheint zweifelhaft, ob diese Fahrzeuge auch weiterhin in größerer Zahl beschafft werden.

Neuerdings werden auch Versuche gemacht, die in Betrieb und Unterhalt sehr kostspieligen Akkumulatoren durch Anordnung eines Explosionsmaschinensatzes zu ersetzen, und zwar sind derartige benzolelektrische Triebwagen seit einiger Zeit im

Versuchsbetriebe auf den Strecken der preußischen Staatsbahnen. Bei diesen Triebwagen ruht der Wagenkasten auf zwei zweiachsigen Drehgestellen, die mit dreifacher Federung versehen sind, wodurch eine Übertragung von Stößen und Schwankungen

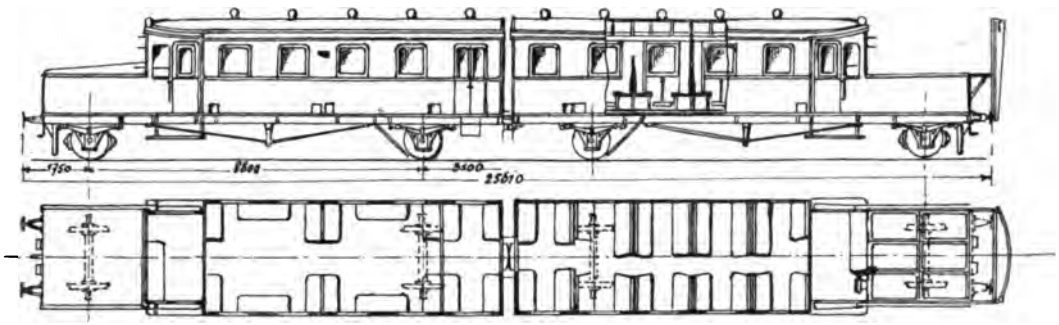


Abbildung 27. Akkumulator-Triebwagen der preußischen Staatsbahnen.

auf den Wagenkasten nach Möglichkeit vermieden werden soll. Um die von dem Motor ausgehenden Erschütterungen von dem Wagenkasten fernzuhalten, und um für Untersuchungen eine gute Zugänglichkeit zum Maschinensatz zu ermöglichen, wurde der Verbrennungsmotor sowie die als Krafterzeuger dienende Nebenschlußdynamo nebst Erregermaschine in dem einen Drehgestell untergebracht.

Wieweit sich dieser Triebwagentyp einführen und ob er die Akkumulatorenwagen zu verdrängen in der Lage sein wird, muß abgewartet werden und wird auch davon abhängen, ob sich die Einlegung solcher Triebwagen für die Bewältigung schwachen Verkehrs in wirtschaftlicher Beziehung verantworten läßt.

Als ein weiteres Beispiel der Anwendung von Gleichstrom für eine Elektro-güterbahn ließe sich noch die nachstehend beschriebene Transportlokomotive für Abraumtransporte in Braunkohlenwerken erwähnen, die in dieser Ausführung den bisher ausschließlich verwandten Dampflokomotiven ernstlich Konkurrenz zu machen beginnt. Bei den Braunkohlenwerken liegen im allgemeinen die Verhältnisse günstiger für die Verwendung von elektrischen Lokomotiven, als es sonst bei Transportbahnen der Fall zu sein pflegt. Bei der Eigenart des Betriebes auf den Braunkohlenwerken kann die Erzeugung elektrischer Energie mit derart niedrigen Kosten ermöglicht werden, wie sie in anderen Betrieben unerreichbar sind: mit dem Abdampf aus den Brikettpressen werden Abdampfturbinen betrieben, die direkt mit Dynamos gekuppelt sind, die elektrische Energie wird also gewissermaßen als Nebenprodukt gewonnen und kann deshalb mit sehr geringen Beträgen in die Rentabilitätsberechnung eingesetzt werden.

Da ein großer Teil der Gestehungskosten der Braunkohle auf die Freilegung der Kohlenflöze, auf die sogenannten Abraumarbeiten, entfällt, ist die große Bedeutung der Verbilligung dieser Arbeiten klar, und aus diesem Grunde wird neuerdings die elektrische Energie zum Antrieb von Baggern und Lokomotiven bevorzugt (Abbildung 28).

Die abgebildete Lokomotive ist eine vierachsige Maschine, bei welcher je 2 Achsen zu einem Drehgestell vereinigt sind. Auf jeder der 4 Achsen ist ein Gleichstrom-Wendepol-Motor mit einfachem Zahnradvorgelege aufgelagert. Die Motoren entwickeln zusammen eine normale Stundenleistung von 4×110 P.S. $= 440$ P.S. und verleihen der Lokomotive bei 500 Volt Spannung in Parallelschaltung eine Stundengeschwindigkeit von 12 km. Gesteuert werden die Motoren von einem im Führerhaus angeord-

neten Serienparallelkontroller, mit welchem die vier Motoren gruppenweise in Serien und parallel geschaltet werden können.

Die Lokomotiven haben ein Dienstgewicht von 44 t und können infolge der Anordnung auf zwei Drehgestellen Gleiskrümmungen bis herab zu 30 m Halbmesser befahren.

Mit Rücksicht auf die zu befahrenden erheblichen Steigungen, die bis zu 70 ‰ betragen können, ist besonderer Wert auf die Anordnung einer kräftigen Bremse gelegt, die sowohl von Hand als mittels Luftdrucks betätigt werden kann.

Die zwei Stromabnehmer sind in Parallelogrammkonstruktion zur Durchführung gelangt, da die Höhe des Fahrdrahtes stark wechselt. Von der geringsten Höhe von 2250 mm, welche das Durchfahrtsprofil des Baggers verlangt, richten sich die Stromabnehmer bis zur größten Fahrdrahthöhe von 5000 mm automatisch auf, welche bei Überschreitung von öffentlichen Wegen eingehalten werden muß.

Stellt die vorstehend beschriebene Güterlokomotive eine in bezug auf die schmale Spurweite verhältnismäßig sehr leistungsfähige Ausführung für Gleichstrom dar, so ist sie im Verhältnis zu den Anforderungen des Vollbahnbetriebes doch nur sehr begrenzt, und damit sind die derzeitigen Anwendungsgebiete des Gleichstroms für Bahnzwecke erschöpft. Die fortschreitende Entwicklung der Elektrizitätswerke, der Wunsch, immer größere und weitere Gebiete mit dem Leitungsnetz derselben zu überspannen, die immer höher werdenden Anforderungen des Verkehrs in bezug auf Zugleistungen und Geschwindigkeiten zwingen zur Anwendung immer höherer Spannungen, und diese lassen sich mit Gleichstrommaschinen eben nur bis zu einem gewissen,

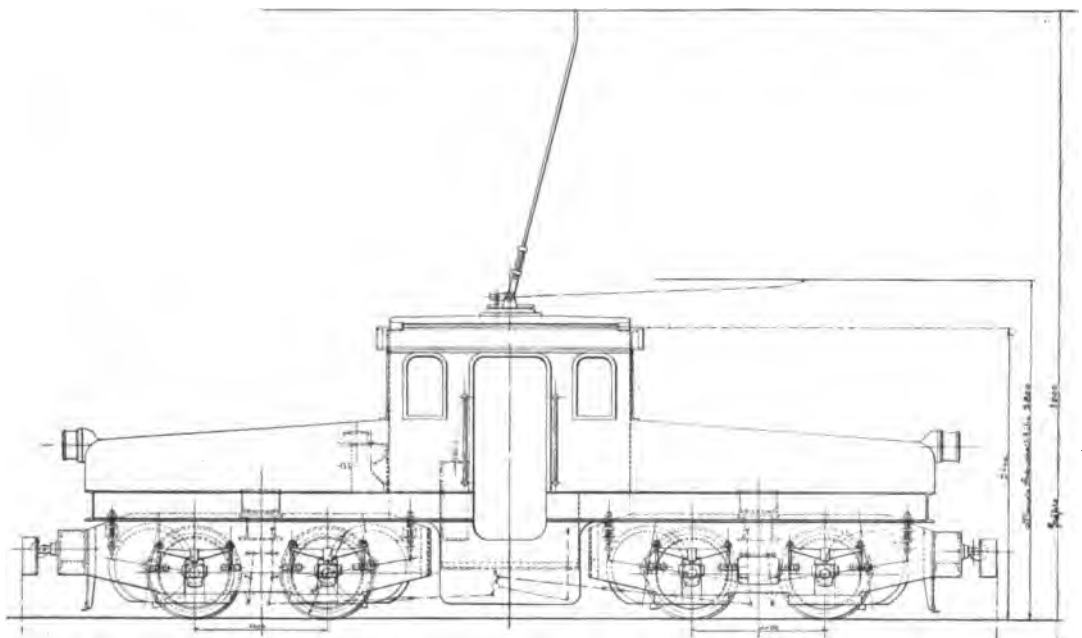


Abbildung 28. Schmalspurige Gleichstromlokomotive für Abraumzwecke.

beschränkten Grade erreichen, da der Kollektor mit seinen vielen Isolationen stets einen wunden Punkt nach dieser Richtung hin bildet.

Das zweite System elektrischer Energieerzeugung, der Drehstrom- oder richtiger Mehrphasenstrommotor ist zuerst durch die gelegentlich der Frankfurter Aus-

stellung hergestellte Lauffen-Frankfurter Kraftübertragung bekannt geworden. Es verdankt seine Ausbildung in erster Linie dem Umstande, daß zu jener Zeit der Wechselstrommotor noch synchron mit der stromgebenden Maschine laufen mußte und daher

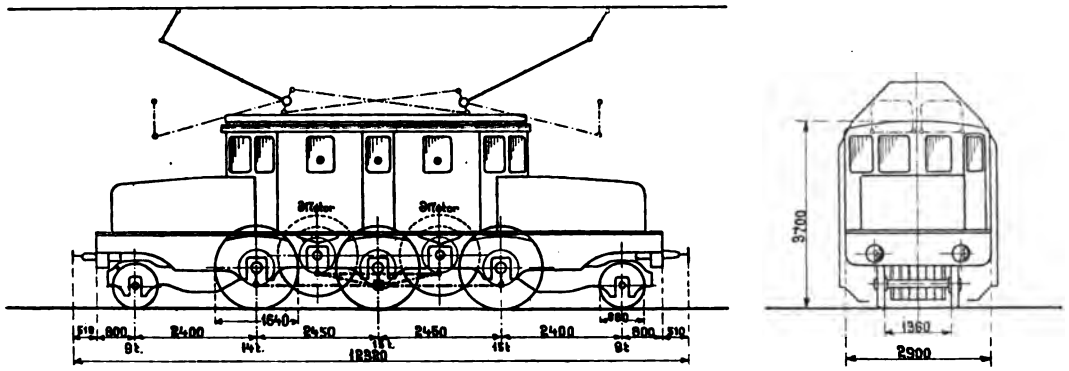


Abbildung 29. Drehstromlokomotive für die Simplonbahn.

unter Belastung nicht anging, bzw. wenn er durch Überlastung aus dem Synchronismus fiel, sehr leicht zum Stillstand kam.

Mit der Entwicklung des asynchronen Wechselstrommotors ist indessen der Drehstrommotor wieder in den Hintergrund getreten, und besonders für Vollbahnbetriebe hat er zurzeit nur in Italien einige Bedeutung erlangt. Bei der Übertragung mit Drehstrom zeigt es sich indessen, daß die Länge der Fahrdrahtstrecken verhältnismäßig beschränkt ist, weil die Drehstromspannung nicht so hoch gewählt werden kann wie bei Wechselstrom. Es war zum Beispiel möglich, die Strecke von Lecco nach Sondrio in einer Gesamtstrecke von 100 km zu betreiben, aber es sind dazu 10 Unterwerke nötig, um die Kraftwerkspannung von 20000 Volt bei 15 Perioden auf die Fahrdraht- und Motorspannung von 3000 Volt herunter zu transformieren. (Abbildung 29.)

Jede Lokomotive muß außerdem zwei Stromabnehmer nebeneinander für die zwei nebeneinanderliegenden Fahrdrähte haben, und über jedem Gleis, auch bei Abweichungen und Krümmungen, sind zwei gegenpolige Fahrdrähte nebeneinander erforderlich, und das ist vom eisenbahntechnischen Standpunkt sehr unerwünscht. Es stellen sich große Isolationsschwierigkeiten heraus, die es nicht ratsam erscheinen lassen, zu höheren Spannungen überzugehen als 3000—5000 Volt, während man bei einfachem Wechselstrom nur einen einzigen Draht über dem Gleis zu isolieren hat und ganz bequem mit 10000—15000 Volt Fahrdrahtspannung arbeiten kann.

Eine Zukunft im Eisenbahnbetriebe wird also der Drehstrommotor kaum haben, diese gehört vielmehr, wenigstens im Vollbahnbetriebe, dem Wechselstrommotor, der auch in den letzten Jahren bereits eine ausgedehnte Verwendung gefunden hat.

In der Anwendung von Wechselstrom ist zuerst bei der elektrischen Stadt- und Vorortbahn Hamburg—Blankenese—Ohlsdorf im Jahre 1906 eine Fahrdrahtspannung von 6000 Volt bei 25 Perioden gebraucht worden, und es konnte damit von dem Kraftwerk aus mit einer einpoligen Fahrleitung der Hauptteil der Bahnstrecke bestrichen werden. Diese Bahn ist ebenfalls für Triebwagenverkehr eingerichtet, und der Betrieb hat sich derart günstig eingeführt, daß zurzeit bereits über 130 Motorwagen auf dieser Strecke verkehren.

Bei der unter ähnlichen Verhältnissen arbeitenden holländischen Bahn von Rotterdam nach Haag und Scheveningen ist bereits die Fahrdrahtspannung auf 10000 Volt

erhöht worden, und zwar auf Grund der bei der Hamburg—Blankenese-Bahn gemachten Erfahrung, daß 6000 Volt für Vollbahnen noch keine genügend hohe Spannung ist.

Auf Grund der günstigen Erfahrungen mit den obigen Vorortbahnen haben die Bahnverwaltungen und insbesondere die preußische Staatsbahnverwaltung sich dann entschlossen, auch Lokomotiven für große Leistungen mit elektrischer Ausrüstung für Wechselstrom zu bauen und in Betrieb zu nehmen, und damit hat die Elektrifizierung der Vollbahnen, die dem zweiten Dezennium des 20. Jahrhunderts ihr Zeichen aufdrückt, ihren Anfang genommen. War es im Jahre 1903 die preußische Staatsbahn, welche mit einem neuen Wechselstrom-Bahnmotor, Bauart Winter-Eichberg, auf der Strecke Nieder-Schöneweide—Spindlersfeld bei Berlin die erste Einphasenbahn der Welt eröffnete, in demselben Jahre, wo bei den Schnellfahrtsversuchen Marienfelde—Zossen der Drehstrom seinen Höhepunkt im Bahnwesen erreichte, die ferner auf Grund zielbewußter Arbeiten im Jahre 1906 die erste große Bahnanlage mit Wechselstrombetrieb auf der Hamburger Stadt- und Vorortbahn in Betrieb nahm, so ist es auch wieder dieselbe Verwaltung, die mit der durchgeführten Elektrifizierung der Vollbahnstrecke Magdeburg—Dessau—Bitterfeld—Leipzig—Halle und der zurzeit zur Ausführung gelangenden Einrichtung des elektrischen Betriebes auf der Strecke Lauban—Königszelt vorangeht.

Es war der Eisenbahnverwaltung von vornherein klar, daß die Aufgaben der elektrischen Zugförderung auf Fernbahnen nicht von Triebwagen, sondern in erster Linie von Lokomotiven gelöst werden müssen, und daß deshalb der Entwicklung brauchbarer Lokomotiv-Bauarten in erster Linie die größte Aufmerksamkeit geschenkt werden mußte. Im Jahre 1902 behandelte der elektrotechnische Sachreferent im Ministerium der öffentlichen Arbeiten, Geh. Baurat Wittfeld, in einem Vortrag vom eisenbahntechnischen Standpunkt aus den Entwurf elektrischer Hauptbahnlokomotiven, insbesondere für höhere Fahrgeschwindigkeiten. Die damals aufgestellten Grundsätze über Aufbau und Antrieb sind in den letzten Jahren fast von allen Bahnverwaltungen übernommen und haben zu der modernen Bauart elektrischer Hauptbahnlokomotiven mit Antrieb durch Parallelkurbelgetriebe geführt.

Österreich, Schweden und die Schweiz sind auf Grund eingehender Studien und praktischer Versuche zu dem Ergebnis gekommen, daß für ihre Verhältnisse die Elektrifizierung der Vollbahnen mit 15 bis $16^2/_3$ Perioden Wechselstrom das Gegebene ist. In Frankreich macht die Südbahn vielversprechende Versuche mit Wechselstromlokomotiven, deren Energie durch Wasserkraftwerke erzeugt wird. In England beabsichtigt die London Brighton & South Coast-Bahn, den bereits elektrifizierten Vorortverkehr über die Fernbahnstrecke bis Brighton zu verlängern. In Amerika sind bereits auf den Linien der mit Wechselstrom elektrifizierten Strecken der New York, New Haven & Hartford-Bahn gute Betriebserfahrungen gesammelt worden, so daß der Siegeszug des Wechselstroms und die Eroberung des Vollbahnbetriebs durch diesen nicht mehr aufzuhalten ist.

VOLLBAHNBETRIEBE MIT WECHSELSTROM. Es handelt sich bei diesen Betrieben um Vollbahnbetrieb mit Lokomotiven, welche Güterzüge von 1000 bis 2000 t Gewicht und Personen- und Schnellzüge von 300 bis 500 t Gewicht bei Motorleistungen von 1000 bis 3000 P. S. zu befördern vermögen. Hier interessiert in erster Linie die Versuchsstrecke der preußischen Staatsbahn, welche auf der Strecke Dessau—Bitterfeld bereits fertiggestellt und in Betrieb genommen ist. Diese Strecke ist in der Tat die erste mit Wechselstrom betriebene Hauptbahn in Europa, die alle Merkmale des schweren durchgehenden Hauptbahnverkehrs, d. h. stark belastete Schnell-, Personen- und Güterzüge, aufweist und dementsprechende Anforderungen an die elektrische Zugförderung stellt. (Siehe Brecht.)

Das bereits ausgebaute Stück der eine Gesamtlänge von 154 km aufweisenden Strecke, nämlich das doppelgleisige Stück Bitterfeld—Dessau, ist 26 km lang und weist zwar nur geringe Steigungen auf, ist aber mit ziemlich schweren Güterzügen von 1000—1200 t und mit Personen- und Schnellzügen bis zu 450 t belastet. Es ist infolgedessen die Lieferung einer ziemlich großen elektrischen Arbeit erforderlich, für die ein günstig gelegenes Kraftwerk bei Muldenstein errichtet ist. Dieses ist deshalb günstig gelegen, weil von nahegelegenen Stellen billige Braunkohle zugeführt werden kann und die dicht vorbeifließende Mulde die leichte Entnahme genügender Kühlwassermengen für die Kondensationsanlagen erlaubt.

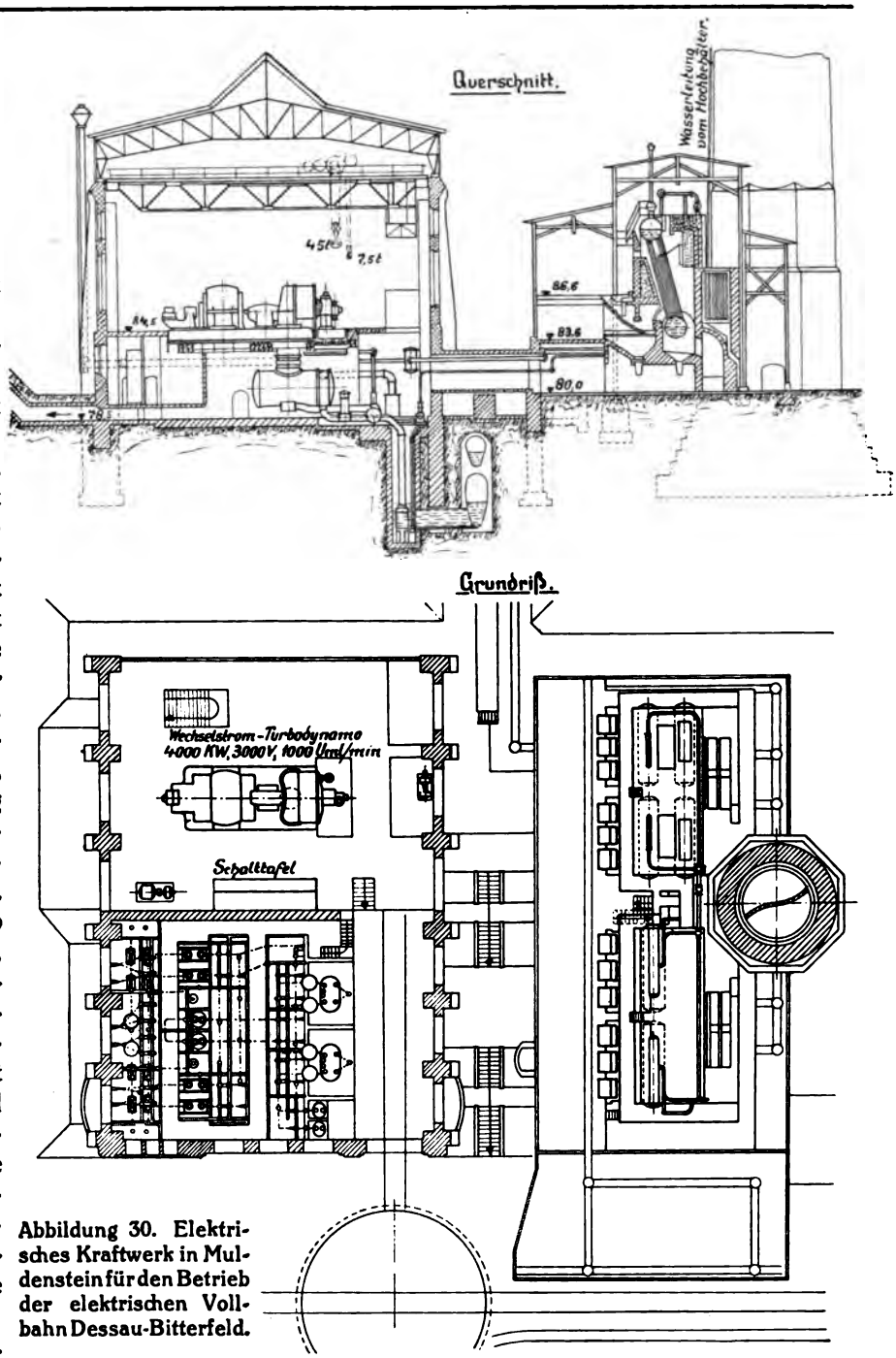


Abbildung 30. Elektrisches Kraftwerk in Muldenstein für den Betrieb der elektrischen Vollbahn Dessau-Bitterfeld.

Zurzeit ist im Kraftwerk, das später für ca. 30000 KVA Gesamtleistung ausgebaut wird, ein S. Sch.-Turbogenerator von etwa 5000 KVA Maximalleistung aufgestellt, der von einer A.-E.-G.-Curtis-Dampfturbine angetrieben wird und Wechselstrom mit einer Spannung von etwa 4000 Volt bei $16^2/_3$ Perioden erzeugt. Die Spannung wird durch

Transformatoren auf 60000 Volt gehoben und beim vollen Ausbau der 154 km langen Strecke an drei Unterwerke entsprechend verteilt. Zurzeit wird der Strom von 60000 Volt an das Unterwerk Bitterfeld geführt, welches die Fahrleitungen zwischen Bitterfeld und Dessau mit Strom von 10000 Volt speist; nach Vollendung der ganzen Strecke wird die Fahrdrahtspannung auf 15000 Volt erhöht werden.

In der Möglichkeit, auf einer stark belasteten Hauptbahn mit jedem Unterwerk mehr als 50 km Streckenlänge beherrschen zu können, kommt der Vorzug der Wechselstrom-Zugförderung deutlich zum Ausdruck.

DAS KRAFTWERK. Die jetzige Anordnung des Kraftwerks stellt ein Provisorium dar; es enthält zurzeit vier Dampfkessel, je zur Hälfte Bauart Stirling, zur Hälfte Bauart Garbe, mit steilliegenden Wasserrohren, von je 300 qm Heizfläche; eine Wechselstrom-Turbodynamo von rund 4000 KW Dauerleistung; zwei Transformatoren mit Ölumlaufkühlung von je 1850 KVA Dauerleistung, 3000/60000 V. Nach Fertigstellung der Erweiterung wird das Kraftwerk enthalten: drei Gruppen von je acht Kesseln der bereits vorhandenen Größen, in der Mitte jeder Gruppe einen Schornstein; fünf Wechselstrom-Turbodynamos der bereits vorhandenen Größe, zwei Gleichstrom-Turbodynamos zum Erregen der Hauptmaschinen sowie zum Speisen der Beleuchtungsanlage und der kleineren Hilfsmaschinen.

Der Dampfteil der Anlage ist zugunsten eines einfachen und zuverlässigen Betriebs möglichst unabhängig von dem elektrischen Teil, insbesondere vom Gleichstromnetz, ausgeführt. Die Kondensationsanlagen der Maschinen haben Dampfturbinenbetrieb, ebenso die Kesselspeisepumpen. Die durch den Turbinenantrieb der Hilfsmaschinen erzielte Raumersparnis gestattet eine übersichtliche und für die Bedienung bequeme Zusammenfassung fast aller Hilfsmaschinen, die außer den Hauptmaschinen noch Bedienung erfordern, in dem Kellerraum unter dem Maschinenhause.

Bei der Ausführung des elektrischen Teils der Anlage ist durchweg auf größte Sicherheit gegen nachteilige Folgen von Kurzschlüssen gesehen. Die im Netz liegenden selbsttätigen Höchststromausschalter sind so eingestellt, daß die der Fahrleitungsanlage am nächsten liegenden Schalter zuerst ansprechen und dann, falls der Kurzschluß fortbesteht, mit immer größerer zeitlicher Verzögerung die nach der Stromquelle zu liegenden Schalter. Gleichzeitig mit dem Auftreten des Überstroms wird durch einen besonderen Auslöser die Zusatzerregung des Stromerzeugers abgeschaltet, so daß die Maschine ihren natürlichen und sehr erheblichen Spannungsabfall bekommt. Infolgedessen sinkt die Kurzschlußleistung der Maschine schnell, und die Hauptschalter im Kraftwerk haben verringerte Energiemengen zu schalten.

Die Wicklungsköpfe des Stromerzeugers sind besonders sorgfältig gegen die bei Kurzschlüssen auftretenden sehr großen mechanischen Beanspruchungen gesichert und ebenso die Wicklungen der Transformatoren.

Unter den Kesseln wird im allgemeinen nur reine, unvermengte Braunkohle von 2100 bis 2400 Wärmeeinheiten auf Treppenrosten verfeuert. Die Verdampfung ist befriedigend: bei der normalen Beanspruchung von stündlich rund 22 kg Dampf für 1 qm rund 3,6fach (bezogen auf Dampf von 100° und Wasser von 0°), bei stärkerer Beanspruchung etwa 3,4fach.

SPEISELEITUNGEN. Vom Kraftwerk Muldenstein zum Unterwerk Bitterfeld führt eine zweipolige Hochspannungsfreileitung, die zur Hälfte von Stützisolatoren, zur Hälfte von Hängeisolatoren getragen wird. Letztere kommen neuerdings vielfach in Aufnahme, weil man sie infolge Hintereinanderschaltung mehrerer Normalisolatoren

und der günstigeren mechanischen Beanspruchung wegen als sicherer ansehen kann als die Stützisolatoren.

Außerdem dienen als Speiseleitung vom Kraftwerk zum Unterwerk zwei Paar unterirdisch verlegte Kabel, die mit 60000 bis 66000 Volt betrieben werden können. Für das von den Siemens-Schuckert-Werken gelieferte Kabelpaar wurde als Leiter ein Aluminiumseil gewählt, mit Papierisolation und doppeltem Bleimantel.

Zum ersten Male tritt hier die Verwendung von Kabeln als Speiseleitungen für hohe Spannungen in die Erscheinung, eine Errungenschaft großer Tragweite, die noch große Bedeutung erlangen wird. Das Kabel hat bisher den Betrieb so gut ausgehalten, daß die Oberleitung nur noch als Reserve dient. Die Schaltung im Kraftwerk ist derart, daß das mittlere Potential der 60000 V-Seite des Transformators auf dem Erdpotential gehalten wird. Bei gleichen Isolations- und Kapazitätsverhältnissen der Kabel ist daher jedes Kabel mit etwa 30000 V gegen seinen Bleimantel beansprucht. Die Kabel sind mit 120000 V gegen Erde geprüft.

DAS UNTERWERK. Im Interesse der Wirtschaftlichkeit ist bei Errichtung von Unterwerken ohne Frage der wichtigste Gesichtspunkt der, daß das Unterwerk möglichst nur solche Maschinen erhält, die keiner ständigen Wartung bedürfen. Aus diesem Grunde sind die Transformatoren des Unterwerks in Bitterfeld nur für Kühlung durch den natürlichen Luftzug eingerichtet. Sie haben zwar infolgedessen für 1850 KVA Dauerleistung sehr erhebliche Abmessungen und Gewichte erhalten, sind aber anderseits hinsichtlich der Erwärmungsverhältnisse auch bei mehrstündigen Überlastungen außerordentlich günstig gestellt.

Die Transformatoren formen jetzt von 60000 V auf 10000 V, später nach Vollendung der ganzen Bahnstrecke auf 15000 V um. Von der Niedrigspannungsseite führen zwei im allgemeinen getrennte Speiseleitungen über zwei selbsttätige Höchststromausschalter zur Fahrleitung.

FAHRLEITUNG. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit sind die Fahrleitungsanlagen der beiden Hauptgleise normal völlig voneinander getrennt, damit eine Störung in der einen Fahrtrichtung keine Beeinträchtigung des Betriebes in der anderen zur Folge hat. Bei Bedarf können die Fahrleitungen jedoch im Unterwerk und an mehreren Stellen auf der Strecke zusammengeschaltet werden. In der Längsrichtung der Strecke sind in bekannter Weise Streckentrenner in der Fahrleitung vorgesehen; sie sind normal überbrückt und ermöglichen im Falle von Störungen in der Leitungsanlage eine schnelle Eingrenzung des Fehlerortes und eine beiderseitige Abtrennung des beschädigten Leitungsstückes.

Die für Bügelbetrieb bestimmte Fahrleitung der S.-Sch.-Werke hat ein solides, einfaches und doch elegantes Aussehen. Einfache Gittermasten sind durch ein Querjoch fest miteinander verbunden; an dem Querjoch ist der Fahrdraht mittels Vielfachaufhängung aufgehängt. Ein Drahtseil, oben an den Isolatoren befestigt, trägt mittels Hilfstragedrähten einen Hilfsfahrdraht und dieser den eigentlichen, durch Gewichte stets selbsttätig gleichmäßig gespannten Fahrdraht.

Diese Anordnung gewährt den großen Vorteil, daß die Fahrleitung bei allen Witterungsverhältnissen fast genau gleich stark und genau parallel zum Gleise gespannt bleibt, und daß daher wegen der absolut gleichmäßigen Lage des Fahrdrahtes mit großen Fahrgeschwindigkeiten bis 150 km und mehr gefahren werden kann.

Die Ausbildung von Streckenisolatoren und selbsttätigen Nachspannvorrichtungen sind konstruktive Aufgaben, deren Lösung gerade bei dieser Anordnung besonders einfach ausfällt. Die Isolation der Fahrleitung bietet auch für 15000 Volt keine

Schwierigkeit mehr und ist mit Porzellanglocken liegender Anordnung leicht zu bewirken (Diabolo-Isolatoren).

Die Fahrleitung muß, da sie frei am Seil hängt, unten durch Stützrohre gesteuert werden, da sie zum Zweck der günstigsten Abnutzung des Bügels des Stromabnehmers im Zickzack verlegt werden muß; durch diese Steuerung wird, je nachdem das Rohr länger oder kürzer gewählt ist, ein beiderseitiges Ausschlagen der Leitung um 50 cm ab Mitte des überspannten Gleises erreicht.

Weichen und Krümmungen können mit Fahrleitung so überspannt werden, daß der Bügel mit voller Breite über alle Teile hinweggleiten kann; dabei kommt es auf die Zahl der Gleise nicht an, so daß auch vielgleisige Bahnhöfe bereits überbrückt werden konnten.

DIE ELEKTRISCHE LOKOMOTIVE. Während die Dampflokomotive in einer Reihe von Jahrzehnten Gelegenheit hatte, sich nach der Seite der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit zu entwickeln — Bestrebungen, die, wie anfangs auseinandergesetzt wurde, zu ganz bestimmten Bauarten für die verschiedenen Verwendungszwecke führten —, befindet sich die elektrische Lokomotive zurzeit noch im vollen Entwicklungsgange, und man kann trotz aller bereits erreichter Leistungen durchaus noch nicht davon sprechen, daß die Zeit der Versuche abgeschlossen ist und daß allgemein maßgebende Gesichtspunkte für die einzelnen Bauarten bereits feststehen. Allerdings ist nicht zu verkennen, daß das Tempo in der Entwicklung der elektrischen Lokomotive ein ungleich rascheres ist als seinerzeit bei der Dampflokomotive, und man kann wohl damit rechnen, daß in absehbarer Zeit die gerade zurzeit und in erster Linie seitens der preußischen Staatsbahnen vorgenommenen Versuche die nötigen Grundlagen zur Aufstellung allgemeingültiger Gesichtspunkte schaffen werden.

Die Elektrotechniker sind sich darüber klar, daß sie den Sieg über die Dampflokomotiven nur dann davontragen können, wenn sie mit elektrischen Lokomotiven hervortreten, die auf die Gewichtseinheit erheblich mehr als die modernen Dampflokomotiven leisten. Damit die elektrische Lokomotive diesen Anforderungen entspricht, muß außer der elektrischen Kraftübertragung vom Generator bis zum Motor auch die weitere vom Motor bis zu den Treibrädern technisch vollkommen und wirtschaftlich sein. Der Erfüllung dieser Forderung stellen sich aber bei dem Fehlen von Unterlagen und Erfahrungen immer noch mannigfaltige Schwierigkeiten entgegen.

Die Kraftübertragung zwischen Motor und Treibradachse kann erfolgen:

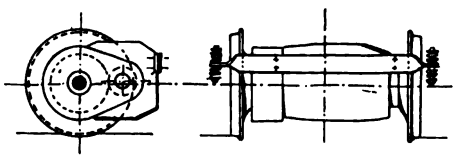
1. unmittelbar;
2. durch Zahnradantrieb;
3. durch Kurbelantrieb unter Benutzung eines Mitnehmers;
4. durch reinen Kurbelantrieb;
5. durch zusätzliche Verwendung einer Zahnradübertragung mit dem unter 3 genannten Kurbelantrieb durch Mitnehmer, und
6. durch zusätzliche Verwendung einer Zahnradübertragung mit dem unter 4 genannten reinen Kurbelantrieb.

Nach der Radanordnung läßt sich folgende Einteilung der elektrischen Lokomotiven vornehmen:

a) alle Treibräder sind in einem starren Rahmen angeordnet;
b) die Treibräder sind in zwei Drehgestellen untergebracht;
c) die Treibräder verteilen sich auf zwei gekuppelte Lokomotivhälften.

Zu dieser Einteilung kommen noch die etwa vorhandenen Laufräder.

Der direkte Antrieb, bei dem der Motor direkt auf der Treibradwelle montiert ist, hat zwar den Vorzug großer Einfachheit, weist dafür aber den großen Nachteil auf, daß die Achsen mit einem hohen nicht abgefederten Gewicht belastet werden, woraus eine starke Beanspruchung der Schienen, des Oberbaues und Schäden am Motor selbst resultierten. Er kommt deshalb um so weniger für Vollbahnbetrieb in Frage, als die Stärke der unterzubringenden Motoren nur eine sehr beschränkte ist.



Abbild. 31. Gewöhnlicher Zahnradantrieb.

Auch der Versuch, den Motor auf den abgefederten Lokomotivteil zu verlegen und zwischen ihm und der Treibradwelle eine elastische Verbindung herzustellen, hat kein ausreichendes Resultat ergeben; denn obwohl der Nachteil der schweren nicht abgefederten Massen behoben wurde, blieb doch noch der Nachteil zu tiefer Schwerpunktslage und die Beschränkung der Anwendbarkeit in der Forderung der Übereinstimmung zwischen der rationellen Umlaufzahl der Motoren mit der gewünschten Fahrgeschwindigkeit.

Die zweite Form der Kraftübertragung mittels Zahnradvorgeleges ist die bis vor wenigen Jahren fast ausschließlich benutzte und bei den elektrischen Triebwagen und Straßenbahnwagen verwendete; bei dieser Anordnung liegt der Motor entweder in gleicher Höhe mit der Achse oder senkrecht über ihr. (Abbildung 31.)

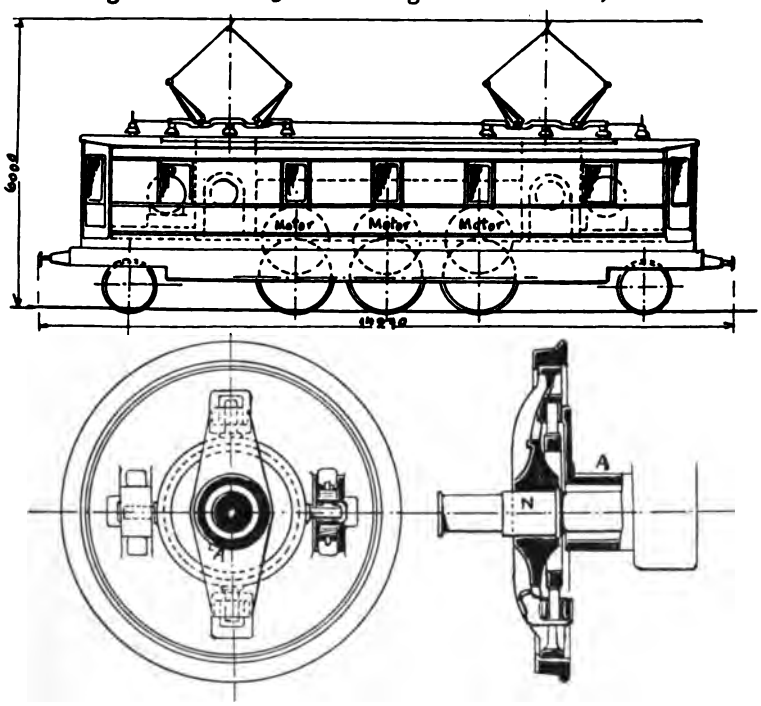


Abbildung 32. Wechselstromlokomotive mit senkrechtem federndem Motorantrieb.

Bei der ersteren Anordnung wird das getriebene Zahnrad direkt auf der Treibachse montiert, und das Motorgehäuse ruht einesteils in Lagern auf dieser Achse und ist anderseits federnd am Gestell der Lokomotive aufgehängt. Diese Anordnung ist insbesondere von den Straßenbahnen übernommen, weist aber als Nachteil die tiefe Lage des Schwerpunktes auf und eine Beschränkung in der Stärke des Motors, die bei normaler Spurweite und Treibrädern von 1 m Durchmesser auf 300 bis höchstens 350 P.S. sich ergibt.

Bei Lagerung des Motors senkrecht über der angetriebenen Radachse kommen diese beiden Nachteile in Fortfall. An Stelle des starren Zahnradvorgeleges, das die Schienenstöße direkt dem Motor mitteilt, tritt eine elastische Verbindung, wie sie als Beispiel in Abbildung 32 gezeigt ist und zur Lokomotive nach derselben Abbildung

gehört. Diese für die französische Midi-Bahn gebaute Lokomotive hat drei 500 P.S.-Motoren, und jeder derselben treibt mittels eines Zahnradvorgeleges mit der Übersetzung 1 : 2,72 eine Hohlwelle A (Abbildung 32) an, in welcher die Radwelle N läuft. Der Schwerpunkt der Lokomotive liegt bei dieser Anordnung etwa in 1800 mm Höhe über Schienenoberkante.

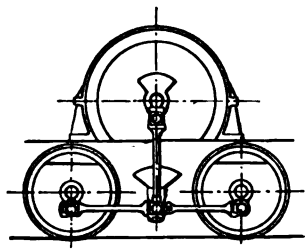


Abbildung 33a. Reiner Kurbelantrieb mit Blindwelle bei einem Triebmotor und senkrecht darunterliegender Blindwelle.

Schneckengetriebe finden sich bisher nicht an elektrischen Lokomotiven, können auch wegen ihres geringen Wirkungsgrades infolge der größeren Zahnreibung und wegen der Hemmung im rückwärtigen Antrieb des Motors durch die Treibräder als wenig zweckentsprechend betrachtet werden.

Dagegen sind die Kegelräderantriebe vereinzelt zur Anwendung gelangt, wie z. B. bei der Lokomotive der Chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerrannée. Diese Lokomotive bringt den durch die Fahrleitung ihr zugeführten Einphasenwechselstrom von 12000 Volt und 25 Perioden mittels Transformatoren auf niedere Spannung und verarbeitet ihn hier zu Gleichstrom. Sie hat die Bauart 2 B+B 2 und hat für jede Treibachse einen 400-P. S.-Gleichstromserienmotor für normal 600 Umläufe bei 300 Volt.

Die Zahnradübertragung an sich bietet den Vorteil, daß man Motoren mit höheren normalen Umlaufszahlen verwenden kann und damit ein leichteres Gewicht der Motoren erreicht. Sie haben aber den Nachteil, daß sie den für den Motor verbleibenden Raum zwischen den Treibrädern stark beengen und einen Zuwachs an energieverzehrenden Teilen bringen. Auch muß bei Herstellung der Zahnräder die größte Sorgfalt bei Auswahl des Materials und Bearbeitung obwalten, da die Vorgelege bei den plötzlichen und heftigen Stößen, denen es durch die Unebenheiten der Gleise ausgesetzt ist, außerordentlich beansprucht werden.

Die dritte Übertragungsform durch Kurbelantrieb ohne Blindwelle und ohne Zahnräder bedient sich eines sogenannten Mitnehmers. Dieser ist in der Hauptsache eine Kuppelstange für die Kurbeln zweier Wellen, an der mittels einer Kurbelschleife eine dritte zwischen den beiden ersteren liegende Kurbel angreift. Eine praktische Anwendung dieser Übertragungsform befindet sich an der Drehstromlokomotive für die Valtellinabahn in Italien. Der Mitnehmer wird hierbei an seinen Enden von Motorkurbeln getragen, deren Wellen höher liegen als die Treibradwellen und die Bewegungen des abgefederten Lokomotivteils mitmachen, auf dem die Motoren ruhen. Die vor und hinter der angetriebenen Radachse liegenden Treibräder sind durch Kuppelstangen angeschlossen. Gegenüber der Zahnradübertragung ist bei dieser Anordnung der Schwerpunkt der Lokomotive schon etwas höher gerückt, jedoch ist diese Ausführung bisher nur einige Male versuchsweise zur Anordnung gelangt.

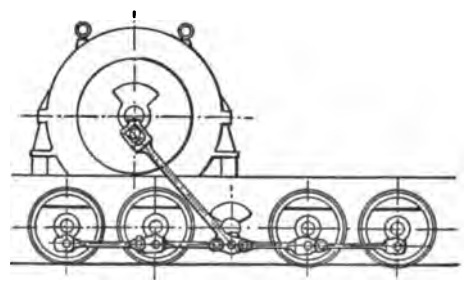


Abbildung 33b. Reiner Kurbelantrieb mit einem Triebmotor und einer schräg darunterſitzenden Blindwelle.

Die vierte und sechste Art der Kraftübertragung durch Kurbelantrieb mit Blindwelle, entweder ohne oder mit Zwischenschaltung eines Zahnradvorgeleges, ergibt den großen Vorteil, daß die Motoren dem Rahmen gänzlich entrückt und auf den abgefederten Lokomotivteil gestellt werden können. Dadurch fallen in erster Linie alle Beschränkungen in der Größe und damit

der Stärke der Motoren fort, die ihnen bei den anderen Anordnungen durch den engen Raum innerhalb der Treibräder vorgeschrieben waren. Auch können die Motoren nunmehr offen und der Kontrolle zugänglich gebaut werden, und schließlich rückt der Schwerpunkt der Lokomotive wesentlich höher.

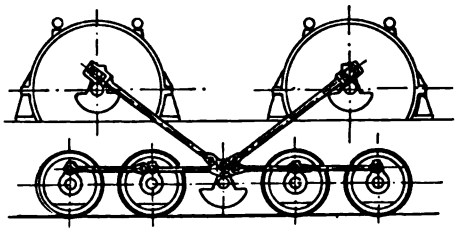


Abbildung 33c. Reiner Kurbelantrieb mit Blindwelle und zwei Triebmotoren, wo die Blindwelle schräg zwischen den Motoren liegt.

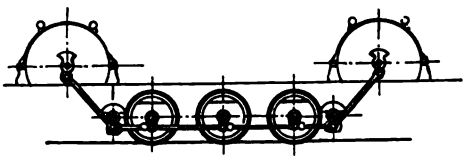


Abbildung 33d. Reiner Kurbelantrieb mit zwei Triebmotoren und zwei schräg seitwärts sitzenden Blindwellen.

Die Blindwelle ist im abgefederten Lokomotivrahmen fest gelagert und macht die Bewegungen des letzteren mit; von der Blindwelle gehen horizontal- oder ganz wenig geneigtliegende Kuppelstangen zu den Radachsen. Die Ausführung der Lagerung der Motorachse sowie der Blindwelle und des Kurbelantriebes erfordert bei dieser Bauart die größte Genauigkeit und Sorgfalt, weil bei der elektrischen Lokomotive nur starre Übertragungsteile mit genau vorgeschriebener Bewegungsbahn die Kraftübertragung vermitteln im Gegensatz zur Dampflokomotive, wo die Übertragung durch Zylinder und Kolben erfolgt, bei dem etwaige geringe Ungenauigkeiten der Endstellungen keine schwerwiegende Bedeutung haben. Da ferner der Druck in den Übertragungsstellen periodisch

Abbildung 34. Elektrische 1 C 1-Vollbahn-Wechselstromlokomotive für die Wiesenthalbahn mit Kurbelantrieb nach Abbildung 33d.

schwankt, so ergibt sich die Notwendigkeit, diese sowie den die Unterstützung abgebenden Rahmen wesentlich kräftiger auszuführen, als es bei Dampflokomotiven und bei Verwendung von Zahnrädern notwendig ist. Die Art der Kraftübertragung durch Blindwelle ohne zwischenliegende Zahnradübertragung, also der reine Kurbelantrieb,

ist die zurzeit am meisten angewandte und insbesondere für Schnellzugslokomotiven am besten geeignete. (Abbildung 33 und 34).

Die fünfte und sechste Art der Kraftübertragung unterscheiden sich von der dritten und vierten dadurch, daß in beiden Fällen der Antrieb nicht direkt von der Motorwelle aus stattfindet, sondern durch eine zwischengelagerte, durch Zahnräder angetriebene Blindwelle. Als ein typisches Beispiel der fünften Bauart kann das in Abbildung 35 dargestellte gelten. Jeder der beiden 600-P. S.-Motoren treibt zunächst mittels Zahnradvorgeleges eine eigene Blindwelle, und an deren Kurbeln ist der Mitnehmer befestigt, in dessen Gleitführung die mittelste Treibradkurbel eingreift.

Die sechste Art der Kraftübertragung benutzt eine zahnradangetriebene Blindwelle in Verbindung mit dem reinen Kurbelantrieb. Sie ist bisher nur wenig, unter anderen bei der Lokomotive der Linie Bern—Lötschberg—Simplon, angewendet, dürfte aber weitere Verbreitung finden. Für das Vorgelege sind bei dieser Lokomotive Winkelzähne benutzt von 250 mm Breite bei Teilkreisdurchmessern von 447 und 1453 mm, und die Zähne sind zweimal unter einem Winkel von 45° gegen die Mittellinie gebrochen. Große Schwierigkeiten bietet bei dieser Bauart einstweilen noch die Herstellung dieser Zahnräder, die weit höhere Kräfte übertragen als bei Einzelantrieb der Achsen.

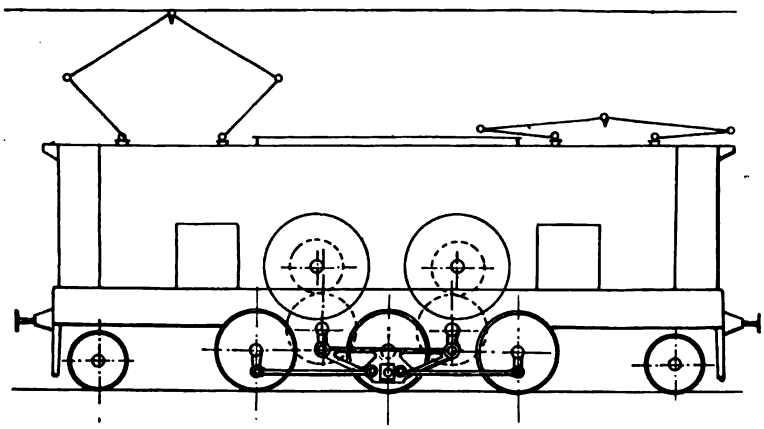


Abbildung 35. Kombinierter Zahnrad- und Mitnehmer-Kurbelantrieb.

Bei einem Vergleiche der obenerwähnten verschiedenen Arten der Kraftübertragung zeigt sich ohne weiteres der große Vorteil, den der Kurbelantrieb nicht allein durch die höhere Lage des Motors und die — wenigstens in weiten Grenzen gehaltene — Unabhängigkeit seiner Dimensionen bietet, sondern auch dadurch, daß bei dieser Ausführung die Möglichkeit gegeben ist, die Lage des Motors so zu wählen, wie es für eine gute Gewichtsverteilung auf die einzelnen Achsen erforderlich ist.

Interessant ist bei dieser Feststellung die Tatsache, daß mit diesem Kurbelantrieb auf Maschinenteile der alten Dampflokomotive zurückgegriffen ist, die man in Kreisen sehr optimistischer Elektrotechniker bereits als vollkommen abgetan ansah. Es zeigte sich aber, daß sich der Bau elektrischer Lokomotiven keineswegs so einfach gestaltete, als man seinerzeit bei den ersten Anwendungen des Elektromotors hoffte. Eine rotierende Bewegung wiederum in eine rotierende umzusetzen, erschien damals dem Auge viel leichter, als die spätere Erfahrung lehrte. Schon der Gedanke, die mit der Dampfkolbenbewegung zusammenhängenden Kurbelbetriebe durch einfachen direkten oder Zahnradantrieb ersetzen zu können, hatte etwas sehr Bestechendes an sich. Und nach der Erfahrung von einem Jahrzehnt tritt nun der Kurbelantrieb als erfolgreichster Mitbewerber des Zahngetriebes auf. Allerdings ist dabei zu bemerken, daß bei den elektrischen Lokomotiven das Kurbelgetriebe nur reine Drehbewegungen zeigt, so daß die mit der Bewegung hin und her gehender Massen verbundenen Beschleunigungskräfte nicht auftreten können, die sich ohne Entstehung anderer stören-

der Kräfte nicht aufheben lassen. Die Fliehkräfte der Stangen können durch Gegengewichte in einfacher Weise ausgeglichen werden.

Wie schon ausgeführt, steht die elektrische Lokomotive im Stadium der Entwicklung, und so fest bestimmte, den einzelnen Verwendungszwecken angepaßte Bauarten wie bei den Dampflokomotiven gibt es zurzeit noch nicht. Das Versuchsfeld bilden die Bahnen aller führenden Länder, alle Betriebssysteme erscheinen auf dem Felde, alle Antriebsarten werden ausprobiert und neue Erfahrungen täglich gewonnen.

Immerhin läßt sich eine Einteilung der elektrischen Vollbahnlokomotiven in dem Sinne als feststehend annehmen, daß in Frage kommen:

SCHNELLZUG-LOKOMOTIVEN mit großer Geschwindigkeit für durchgehende Züge, mit zwei oder drei gekuppelten Achsen und mehreren Laufachsen zur Aufnahme des überschüssigen Gewichtes und zur besseren Führung im Gleise.

GÜTERZUG-LOKOMOTIVEN mit geringerer Geschwindigkeit, aber großer Zugkraft, die zugleich die Beförderung der Personenzüge mit 60—70 km stündlicher Geschwindigkeit zu übernehmen hätten; mit vier oder fünf gekuppelten Achsen; für Gebirgsbahnen käme hierzu ein weiterer Typ mit geringerer Geschwindigkeit und größerer Motorleistung bei sechs gekuppelten Achsen.

Für diese Bauarten erscheinen nach dem Stande der Erfahrungen als Kraftübertragung am geeignetsten: für Schnellzuglokomotiven im Fernverkehr der direkte Parallelkurbelantrieb, für Personen- und schnellerfahrende Güterzuglokomotiven mit großen Leistungen der übersetzte Antrieb in Verbindung mit Mitnehmer oder reinem Parallelkurbelantrieb bzw. auch der direkte Zahnradantrieb durch federnde Vorgelege.

RANGIER-LOKOMOTIVEN. Je geringer die normale Fahrgeschwindigkeit wird, desto mehr empfiehlt sich der Einzelantrieb durch direkte Zahnradvorgelege in der üblichen horizontalen Anordnung; dieses gilt ganz besonders auch für die Rangierlokomotiven.

BESCHREIBUNG EINER ELEKTRISCHEN VOLLBAHN-LOKOMOTIVE. Eine außerordentliche Mannigfaltigkeit in Bauart und Ausführungsdetails bei elektrischen Vollbahnlokomotiven trifft man auf der vorstehend beschriebenen Bahnstrecke Dessau—Bitterfeld an, wo die von den verschiedenen führenden Elektrizitätsfirmen gebauten Versuchslokomotiven nebeneinander ihren Dienst versehen und teils Schnellzüge, teils Güterzüge mit größerem oder geringerem Erfolge befördern.

Bei weitem die meisten Ausführungen weisen einen oder höchstens zwei hochliegende Einphasen-Reihenschluß-Kommutatormotoren auf. Diese sind in dem sehr stark ausgebildeten Lokomotivgestell fest gelagert und übertragen ihre Kraft mit Hilfe von Kuppelstangen und Blindwellen, welche in gleicher Höhe mit den Triebachsen liegen, auf die letzteren. Um eine feste Lagerung der Motoren zu sichern, sind die Blindwellenlager mit den Motorlagern sowie die Blindwellenlager unter sich durch kräftige Gußstücke verbunden. (Abbildung 36.)

Die Kurbeln und Kuppelstangen, die, wie bereits erwähnt, reine Kreisbewegungen ausführen, werden durch Gegengewichte vollkommen ausgeglichen.

Wo irgend angängig, sind die Achsen symmetrisch angeordnet, so daß die Lokomotiven gleich gut vorwärts- und rückwärtsfahren und auf den Bahnhöfen nicht gedreht zu werden brauchen.

Die Lokomotiven werden mit Einphasenstrom von 10000 Volt und 15 Perioden betrieben, der später in 15000 Volt und $16^2/_3$ Perioden umgeändert wird.

Einige Ausführungen zeigen ein wagenkastenähnliches Gestell, das auf dem Lokomotivrahmen ruht und sowohl am vorderen wie am hinteren Ende einen Führerraum aufweist.

Bei anderen liegen ebenfalls zwei Führerstände in der Mitte des Gesamtkastens, der dann nach den Enden zu nur die niedriger gehaltenen Motorumkleidungen zeigt; noch andere weisen nach Art der Dampflokomotiven nur ein Führerhaus auf.

Die beiden Führerstände sind gleichmäßig ausgebildet. Der Führer hat vor sich den Steuerschalter, zur Linken die Handbremse, zur Rechten das Druckluftbremsventil und die Skala des Geschwindigkeitsmessers. An Meßapparaten sind vorhanden: je ein Luftdruckmesser für den Hauptluftbehälter und die Bremsleitung, ein Spannungsanzeiger und eine Anzeigevorrichtung für den Transformator. Ferner befindet sich im Führerhause ein Pumpenschalter, ein Steuerstromausschalter und ein Druckknopf zum Auslösen des Ölschalters. (Abbildung 37.)

Die Beleuchtung der Lokomotive erfolgt durch niedervoltige Kohlenfadenlampen, die mit Wechselstrom gespeist werden. Während der Fahrt bei Nacht ist der Führerstand verdunkelt und die vom Führer zu beobachtenden Apparate sind durch je eine nach außen abgeblendete Lampe erleuchtet. Zum Antrieb der Lokomotive dient ein offener kompensierter Einphasen-Reihenschluß-Kommutatormotor, der mit niedrig gespanntem Strom gespeist wird, und dessen Regelung nur durch Änderung der Spannung dieses Motors erfolgt. Der Strom zum Antrieb des Motors wird der Niederspannungswicklung des Transformators entnommen, dessen Hochspannungswicklung zwischen dem die Fahrleitung beschleifenden Stromabnehmer und Erde liegt.

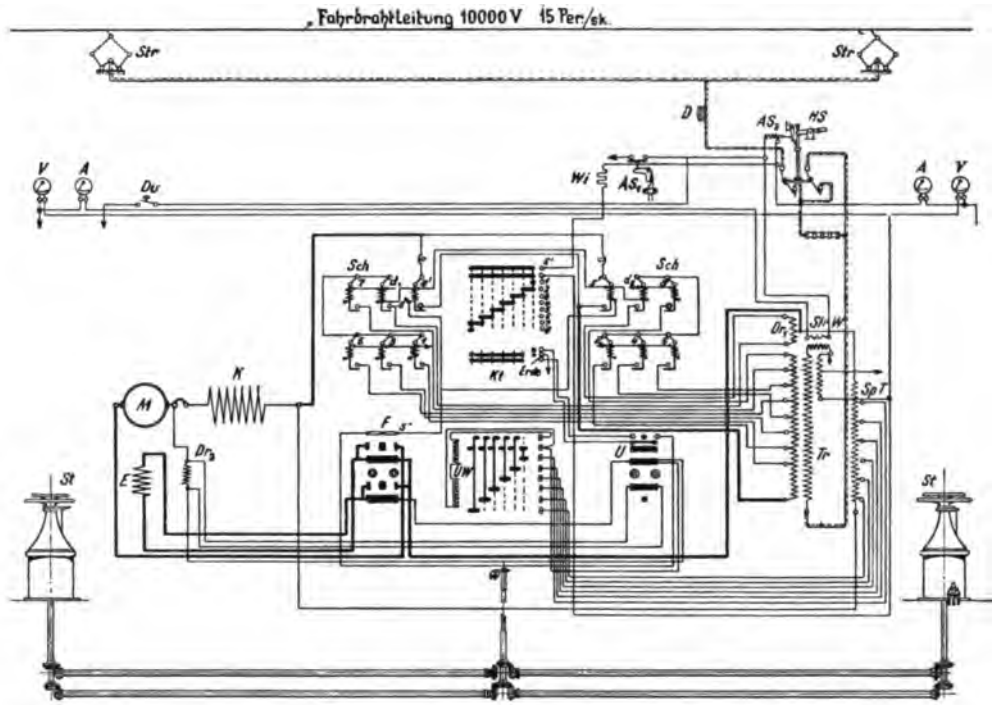
Dieser Transformator dient zur Umwandlung des der Lokomotive zugeführten hochgespannten Wechselstroms in niedriggespannten Wechselstrom, der übrigens auch zu den Nebenapparaten verwendet wird. Er ist ein Kerntransformator mit Scheibenwicklung, auf dessen Schenkeln Hoch- und Niederspannungsspulen stetig miteinander abwechseln. Die mit einem Ende geerdete Niederspannungswicklung ist in fünf Stufen unterteilt, von denen drei zur Speisung des Motors dienen. Die Spannungszunahme durch jede der beiden letzten Stufen ist gleich groß. Um eine gleichmäßige Änderung der Spannung zu erhalten, die für ein sanftes Anfahren der Lokomotive erforderlich ist, wird ein Zusatztransformator von dem Spannungsbereich einer Stufe benutzt.

Abbildung 37. Elektrische D-Güterzug-Lokomotive.

Zur Abnahme des Betriebsstroms von der Fahrleitung dienen zwei Scherenstromabnehmer. Das Anlegen und Abziehen des Stromabnehmers von der Fahrleitung erfolgt von Hand, zu welchem Zweck ein isoliert an einem Hebel einer Stromabnehmerwelle angreifendes Gestänge nach dem Führerstande führt.

Das Untergestell des Stromabnehmers ruht mittels vier Isolatorgruppen auf dem Führerhausdach; jede dieser Gruppen besitzt doppelte Isolation. Das Rohrgestell,

eine sogenannte Nürnberger Schere, hat den Zweck, größere zeitlich langsam aufeinanderfolgende Höhenunterschiede der Fahrleitung zu überwinden; kleinere rasch aufeinanderfolgende Höhenunterschiede gleicht der Stromabnehmerbügel aus, der dreh-



Str Stromabnehmer
D Drosselspule als Blitzschutz
HS Hochspannungsölschalter
AS₁ selbsttätiger Ausschalter bei Betätigung der Luftdruckbremse
AS₂ selbsttätige Höchststromauslösung
St Steuer
Du Druckknopf für Fernauslösung
Sch 1-6, ü₁,₂, s'-s'' Schütze
Kt Steuerschalter
F Fahrtwender
U Umschalter
Tr Transformator
A Strommesser
V Spannungsmesser
Dr₁,₂ Drosselspulen
Str-W Stromwandler
Sp T Spannungsteiler
K Kompensationswicklung
E Erregerwicklung
M Motor

Abbildung 38. Schaltbild einer elektrischen Wechselstrom-Schnellzuglokomotive.

bar von dem oberen Gelenkbolzen des Rohrgestells getragen wird, und den eine auf Drehung beanspruchte Blattfeder in die Mittellage zu bringen sucht.

Die Einzelheiten der Schaltung gehen aus dem Schaltbild Abbildung 38 hervor. Der durch die Stromabnehmer aus der Fahrleitung entnommene einphasige Wechselstrom von 10000 V Spannung und 15 Perioden-Sekunden geht über die Drosselspule D, die atmosphärische Überspannungen von der Maschine fernhalten soll, zum Hochspannungs-Handölschalter H S, dann über einen Stromwandler, der zum Speisen der Höchststromauslösung dient und an den außerdem die verschiedenen Meßgeräte angeschlossen sind, zur Hochspannungswicklung des Haupttransformators.

Dieser hat auf der Niederspannungsseite eine Hauptwicklung für die Motoren und eine Hilfswicklung von 300 V für Steuerung, Beleuchtung und eventuell Heizung. Von den einzelnen Anschlüssen der Niederspannungsseite geht der Strom über die Schützen und über eine Ausgleich- sowie die Erregerwicklung zum Transformator zurück.

Parallel zum Feld und Läufer ist ein besonderer Spannungsteiler eingebaut, der die Spannung derart zur verteilen gestattet, daß das Bürstenfeuer möglichst ver-

ringert wird. Zur Steuerung dienen Schütze, die elektromagnetisch von einem Kontroller aus betätigt werden. Das Umsteuern besorgt ein Druckluftfahrtwender, der das Feld umkehrt.

Die obige Beschreibung einer elektrischen Vollbahnlokomotive zeigt allgemein die heutige Einrichtung einer solchen, wenn die einzelnen Details auch bei den verschiedenen Lieferfirmen Abweichungen aufweisen, auf die näher einzugehen hier nicht der Ort ist, weil, wie gesagt, sich alle diese Einzelheiten im Entwicklungsstadium befinden.

Daß aber die Elektrifizierung der Vollbahnen nicht mehr aufzuhalten ist und in rapidem Tempo voranschreitet, zeigt ein Blick auf die vielen geplanten oder in Vorbereitung oder auch in Ausführung begriffenen Projekte in allen Ländern.

Als eins der wichtigsten dieser Projekte in bezug auf die vorgesehenen Kosten ist die Elektrifizierung der Berliner Stadt-, Ring- und Vorortbahn anzusehen, für das in der kommenden Landtagssitzung nicht weniger als 123 Millionen Mark angefordert werden sollen, die von vielen Seiten als bei weitem nicht zureichend angesehen werden. Die Ansichten über die Wirtschaftlichkeit, die Zweckmäßigkeit, ja selbst über die Möglichkeit der praktischen Ausführung dieses umfangreichen Projekts sind noch sehr geteilt; daß aber eine Behörde wie das Preußische Eisenbahnministerium überhaupt mit einem derartigen Entwurf an die Öffentlichkeit getreten ist, kennzeichnet den stürmischen Entwicklungsgang zur Genüge, den im Laufe des ersten Jahrzehnts des 20. Jahrhunderts die Frage der Elektrifizierung von Vollbahnen genommen hat. Trotz aller noch vorhandenen Unklarheiten läßt es sich nicht leugnen, daß die gegenwärtige Periode das interessanteste Stadium der Entwicklung des elektrischen Betriebes ist.

Abbildung 39. Transportbahn mit elektrischem Betriebe.

DIE SCHIFFE UND IHRE MASCHINENANLAGEN

A. DIE SCHIFFE

VON WALTER LAAS

EINLEITUNG

Das Schiff ist ein Betriebsmittel der Schiffahrt, diese wieder ein Hilfsmittel von Handel und Verkehr, die das Atmen des kulturellen Lebens genannt werden. Durchdringend wie der Zusammenhang von Schiff und Kultur ist die Verbindung des Schiffbaues mit der gesamten modernen Industrie. Ein großes Personen- oder Kriegsschiff ist ein Gipfelpunkt der Technik, zu seiner Herstellung muß die ganze weitverzweigte Industrie Material liefern, anfangend von Rohstoffen wie Holz und Gußeisen, durch alle Zwischenstufen der Halb- und Fertigfabrikate bis zu hochwertigen Erzeugnissen, die ihrerseits wieder Gipfelpunkte der Zweigindustrien sind, wie Hilfsmaschinen, elektrische Anlagen und Apparate, Geschütze und Produkte von aller Art Kunstgewerbe. So bildet das Schiff die größte technische Einheit, vergleichbar an Vielseitigkeit des Inhalts einer lebenskräftigen Stadt, die schnell und sicher über die Meere befördert wird. Ihr Bauplatz, die Werft, ist eine Summe von Einzelfabriken, die bei aller Verschiedenheit der Materialien und ihrer Verarbeitung gemeinsam das eine große Fabrikat, das Schiff, herstellen. Der Zusammenbau erfordert große Plätze, der Transport und das Heben der schweren Teile erfordert die stärksten Krananlagen, und so bildet eine Werft nach Umfang, Inhalt, Krananlagen und Fabrikat die größte einheitliche Fabrik.

Gliederung des Stoffes. Die Behandlung des Schiffbaues wird ausgehen von seinem Zweck, von den verschiedenen Typen in Verbindung mit der Schiffahrt, und der Darstellung der besonderen Zweckeinrichtungen für den Transport von Ladung und Personen; darauf werden folgen die Anlagen mehr seemännischer Natur für Betrieb und Sicherheit auf See. An die Behandlung der bestehenden Formen wird sich die Untersuchung anschließen, wie der Entwurf eines Schiffes aus dem Zweck in rechnerischer und konstruktiver Arbeit entsteht und welche wissenschaftlichen Probleme noch der Lösung harren. Den dritten Teil bilden die Werften mit ihren Einrichtungen sowie der Aufbau und die Fertigstellung der Schiffe. Getrennt von dem eigentlichen Schiffskörper und seiner Ausrüstung wird der motorische Teil, Kessel, Maschinen, Propeller und Hilfsmaschinen, einen besonderen großen Abschnitt bilden.

1. DIE SCHIFFSTYPEN

Nur die wichtigsten und größten Gruppen der Seeschiffahrt zur Beförderung von Fracht und Personen sowie die Fischereifahrzeuge sollen im folgenden eingehender behandelt werden, während die übrigen Sondergruppen und ebenso die Fahrzeuge der Flußschiffahrt und der Kriegsmarinen nur kurz besprochen werden können.

SEGELSCHIFFE. Die Segelschiffe besorgten bis zum Anfang des vorigen Jahrhunderts allein den Transport von Waren und Menschen über See. Gleichartigkeit des Baustoffes, der Bauart und Ausrüstung ist das Kennzeichen dieser Zeit, und mit

dem zur Verfügung stehenden Material, Holz für den Schiffskörper, Holz und Hanf für die Takelung, Kupfer für Verbolzung, Schmiedeeisen für die Beschläge, ist aus der jahrhundertelangen Erfahrung in der harten Beanspruchung einer langen Fahrt tatsächlich etwas technisch Vollkommenes geschaffen worden, insofern mit dem geringsten Aufwand von bestgeeignetem Material sicher Brauchbares erzielt worden ist.

Die Einführung des Dampfes führte zunächst wie jede Konkurrenz zur weiteren technischen Vervollkommnung der Segler mit neuen Materialien (Eisen für den Schiffskörper, Stahldraht für die Takelung), und führte weiter mit den neuen Baustoffen aus wirtschaftlichen Gründen zu größeren Schiffen, weil mit der Größe die Tragfähigkeit schneller wächst als Bau- und Betriebskosten.

Abbildung 1.[1] Viermastbark „Herzogin Sophie Charlotte", normaler großer Frachtsegler, gleichzeitig Schulschiff des Norddeutschen Lloyd. L = 84,22 m, B = 13,15 m, H = 7,75 m, Reg.To = 2591 (2248). Tragfähigkeit = 3400 t. Gebaut 1894 bei Rickmers Reismühlen, Reederei und Schiffbau A.-G. Bremerhaven.

In dieser Entwicklung erreichte die Schnelligkeit und Pünktlichkeit der großen Segler für die Beförderung von Menschen (Auswanderern nach dem Goldland Kalifornien) und wertvollen Gütern (Tee) um die Mitte des vorigen Jahrhunderts eine Höhe, die auch mit den modernsten Seglern nicht wesentlich überschritten werden konnte. Immer mehr aber übernahmen die Dampfer den Transport der Menschen und Güter, weil sie unabhängig von Wind und Strömung kürzere Wege nehmen können und daher pünktlicher und schneller das Ziel erreichen. Immer mehr sind die Segler von dem Seeverkehr zurückgedrängt, obgleich sie ihre Fortbewegungskraft

[1] Die Bilder der Schiffstypen sind angenähert in gleichem Maßstab (ca. 1/1000) dargestellt, so daß ein direkter Vergleich der Größe möglich ist, mit Ausnahme der 3 Schnelldampfer Abb. 20, 21, 23 und 26, die in kleinerem Maßstabe (ca. 1/1500) unter sich vergleichbar dargestellt sind.

L = Länge
B = Breite
H = Seitenhöhe
} nach Register der Klassifikationsgesellschaften.

Reg.To bedeutet Brutto-Registertonnen (in der Klammer Netto-Registertonnen).

kostenlos dem Wind entnehmen. An eine Änderung dieses Zustandes ist in absehbarer Zeit nicht zu denken.

Immerhin ist heute noch der Anteil der Segelschiffe an dem Güteraustausch beachtenswert. Große stählerne Viermastschiffe (Abbildung 1) befördern Massengüter auf langer Fahrt: Kohlen als Ausfracht, Salpeter und Guano von Chile, Erz aus Neukaledonien, Reis und Getreide aus den verschiedenen Ländern, Petroleum aus Amerika. Einen wesentlichen Anteil am Verkehr haben ferner die kleinen Segler der Küstenfahrt, sie befördern alle möglichen Güter: Torf, Kohle, Holz, Getreide, auch Stückgut nach den kleinen Seeplätzen, die bei dem geringen Umfang ihres Bedarfs für einen regelmäßigen Dampferverkehr nicht geeignet sind.

Abbildung 2. Vollgetakelter Mast unter Segel (Kreuzmast des Fünfmast-Vollschiffs „Preußen", s. Abbildung 4). Namen der Rahen und Segel von unten nach oben: Unter-, Untermars-, Obermars-, Unterbram-, Oberbram-, Royalrahe oder -segel.)

Die Takelung, d. h. die Anordnung und Bedienung der Segel, zeigt in den letzten Jahrzehnten keine wesentlichen Änderungen. Für die Überseefahrt sind die Rahsegel vorherrschend, von denen die Abbildung 2 einen Überblick gibt, für die Küstenfahrt wird die Schonertakelung bevorzugt, die ein gutes Manövrieren mit wenig Mannschaft gestattet. Infolge günstiger Windverhältnisse an den nordamerikanischen Küsten gibt es dort auch für die große Küstenfahrt Schoner bis zu 6000 t Tragfähigkeit bei 6 Masten.

Ein eigentümliches Verhängnis ist es, daß die beiden größten Segelschiffe der Erde an der Südküste Englands gestrandet sind: der Siebenmastschoner „Thomas

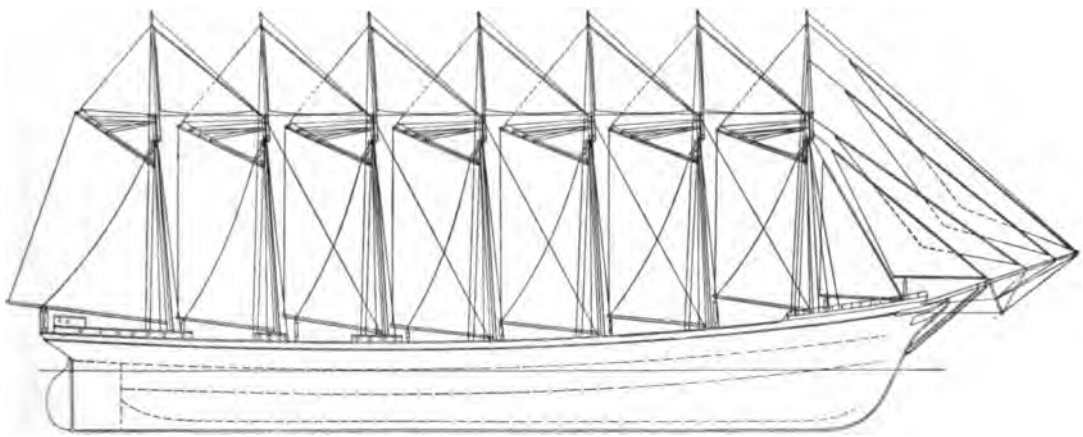


Abbildung 3. Amerikanischer Siebenmastschoner „Thomas W. Lawson". L = 112.24 m, B = 15,2 m, H = 10,75 m, Reg. To = 5218 (4914) Tragfähigkeit = 8100 t. Gebaut 1902 bei Fore River Company in Quincy (Mass.). Größter bisher gebauter Schoner. Gestrandet 19. Dezember 1907 bei Scilly.

W. Lawson" (Abbildung 3) ist auf seiner ersten Europafahrt im Dezember 1907 bei Scilly durch Bruch der Ankerketten in schwerem Wetter verloren gegangen, und im November 1910 trieb nach einer Havarie mit einem Dampfer aus gleicher Ursache

Abbildung 4. Fünfmastvollschiff „Preußen" von Ferd. Laeisz-Hamburg, nach der Strandung bei Dover (November 1910). L = 124 m, B = 16,3 m, H = 9,96 m, Reg. To 50,81 (4765), Tragfähigkeit = 8000 t. Gebaut 1902 bei Joh. C. Tecklenborg A.-G., Geestemünde. Größtes bisher gebautes Rahsegelschiff.

das Fünfmastvollschiff „Preußen" bei Dover auf die Klippen (Abbildung 4).

Von allen Seiten wird der Niedergang der Segelschiffahrt bedauert, nicht zum wenigsten von den Dampferreedereien, die in der Ausbildung von Mannschaft und Offizieren auf einem Segler die beste Schule für den Seemann erblicken und hierzu Segelschulschiffe (Abbildung 1) geschaffen haben. Unter den mannigfachen Versuchen, der Segelschiffahrt zu helfen, ist neben allerlei untauglichen Mitteln, wie Staatshilfen, in erster Linie an technische Verbesserungen zu denken, und in der Tat hat der scharfe Konkurrenzkampf mit den Dampfern auch zu einer Anzahl von technischen Fortschritten in Bau und Betrieb der Takelung geführt, indem man zur Ersparung der teuren Menschenhände zur maschinellen Bewegung der Rahen und Segel (mit Brassenwinden und Rahfallwinden übergegangen ist. Ein erheblicher Fortschritt ist von der Anwendung von Hilfsmotoren erwartet worden, um die Segler über die Windstillen hinwegzubringen und sie bei dem Anlaufen von Häfen unabhängig vom Wind zu machen. Gerade in den letzten Jahren der Entwicklung waren die Motoren für diesen Zweck vorzüglich brauchbar, weil sie wenig Gewicht und Platz einnehmen und jederzeit betriebsbereit sind; sie wären zur Unterstützung der Segler gegenüber den Dampfern vorzüglich geeignet gewesen, weil bis vor kurzem Ölmotoren mit Leistungen, wie sie zum Ersatz der Dampfkraft auf großen Schiffen nötig sind, noch nicht gebaut werden konnten. Diese günstigen Jahre hat die Segelschiffahrt, abgesehen von vereinzelten Ausnahmen in Frankreich und Amerika, leider vorübergehen lassen. Heute drängt die Entwicklung der Motoren bereits zur Verwendung auf großen Schiffen an Stelle von Kessel und Dampfmaschine und wird mit dieser

Abbildung 5. Schonerjacht „Germania", die erste große in Deutschland entworfene und gebaute Rennschonerjacht. Entworfen von Max Oertz-Hamburg, gebaut bei Fr. Krupp A.-G. Germaniawerft, Kiel. L = 32,94 m (47,21 m), B = 8,16 m, Tiefgang = 5,41 m, Depl. = 250 cbm.

noch billigeren Kraft die große Segelschiffahrt weiter in den Hintergrund drängen. Bestehen bleiben vorläufig die Segler in der kleinen Küstenfahrt und in der Fischerei, die später zu behandeln sein wird. Immer aber bleiben wird der Segelsport (Abbildung 5) als einer der kräftigsten und schönsten; vielleicht ist es ihm beschieden, die Kenntnisse in der Beherrschung der Winde zu halten und zu mehren, um nach langen, langen Jahren, wenn Kohle und Öl zu teuer werden, gestützt auf weitere Fortschritte der Flugtechnik und Meteorologie und sonstige Fortschritte der Technik auch die große Segelschiffahrt in geänderter Form zu neuem Leben zu erwecken.

FRACHTDAMPFER. Im Gegensatz zu den Frachtseglern, die in ihrer Bauart und Ausrüstung sehr gleichartig sind, spezialisieren sich die Dampfer für den Frachtverkehr immer mehr, und zwar nach der Art der Ladung oder nach den angelaufenen Häfen (Linienfahrt) oder nach beiden (Abbildung 6—15).

Es gibt allerdings auch heute noch eine große Zahl von sogenannten Normal-Frachtdampfern (Tramps), die ohne besonderen Zweck in mittlerer Größe dort verwendet werden, wo gerade Bedarf ist, aber das Normale wird immer mehr das Ungewöhnliche. Für besondere Zwecke sind solche Schiffe nicht die besten, sie sind zu groß oder zu klein, Geschwindigkeit und Kohlenvorrat passen nicht, Form und Größe des Laderaums sind nicht geeignet, ihre Wirtschaftlichkeit bleibt daher hinter den für den besonderen Zweck gebauten Schiffen weit zurück. Solche normalen Frachtdampfer werden hauptsächlich in England an der Tyne und in Schottland am Clydefluß massenweise billig mit möglichst viel Tragfähigkeit hergestellt. Das wird erreicht durch die einfachsten Materialien, Gußeisen für alle Formstücke, auch für die Antriebsschraube, billiges Holz oder nur Eisen für die Decks; ferner durch einfachste Bauart: an den Materialstärken der Hauptverbandteile kann nicht gespart werden, da diese durch die Vorschriften der Klassifikationsgesellschaften festgesetzt sind; außer diesen Teilen aber gibt es auf einem Schiff noch eine große Zahl von Einzelheiten, die man fest für alle Fälle (d. h. teuer), oder billig (d. h. für gewöhnliche Beanspruchung ausreichend), bauen kann. Es soll dabei nicht verkannt werden, daß durch das Streben nach äußerster Billigkeit auch manche gute, einfache Konstruktion von Einzelheiten herausgebracht worden ist, wie es ja eine besondere Gabe des englischen Ingenieurs (und ebenso des amerikanischen) ist, mit einfachen Mitteln Brauchbares zu schaffen. Die Maschinenanlage wird nach ähnlichen Gesichtspunkten gebaut, nur für geringe Geschwindigkeit (vielleicht 9—10 Seemeilen pro Stunde), so daß solche Schiffe das schwerste Wetter nicht durchhalten können, sondern „beidrehen" müssen. Bei der Arbeitsausführung wird in Schiff und Maschine an Zeichnung und Modellen aufs äußerste gespart, das Schiff wird sehr voll konstruiert mit langem, vollständig

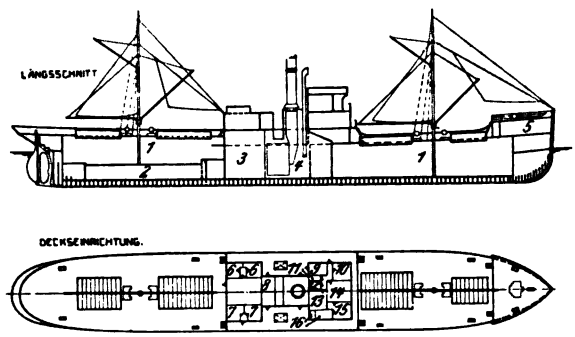


Abbildung 6. Quarterdeckdampfer für große Küstenfahrt.
L — 70 m, B = 11 m, H — 5,4 m, Reg. To — 1250 (800), Tragfähigkeit etwa 2000 t. Ind. P.S.[1] — 700, Geschwindigkeit — 10 Knoten.

1. Laderäume
2. Wellentunnel
3. Maschinenraum
4. Kesselraum
5. Mannschaft
6. Maschinisten
7. Offiziere
8. Kombüse
9. Koch und Aufwärter
10. 2 Passagiere
11. Pantry
12. Vorratsraum
13. Eßzimmer
14. Salon
15. Kapitän
16. Bad und W.C.

[1] Ind. P.S. = Maschinenstärke in indizierten Pferdestärken.

Abbildung 7. Großer Frachtdampfer „Birkenfels" der Deutschen Dampfschiffahrts-Gesellschaft „Hansa"-Bremen. L — 128 m, B — 16,8 m, H — 8,75 m, Reg.To — 5639 (3546), Tragfähigkeit — 9000 t. Ind. P.S. — 2800, Geschwindigkeit — 12 Knoten. Gebaut 1910 bei Joh. C. Tecklenborg A.-G., Geestemünde.

gleichartigem Mittelstück, das je nach der verlangten Schiffsgröße bei gleichen Schiffsenden kürzer oder länger gewählt werden kann. Ebenso werden die Maschinen nur nach wenigen Modellen hergestellt und nur mit der allernotwendigsten Betriebs-

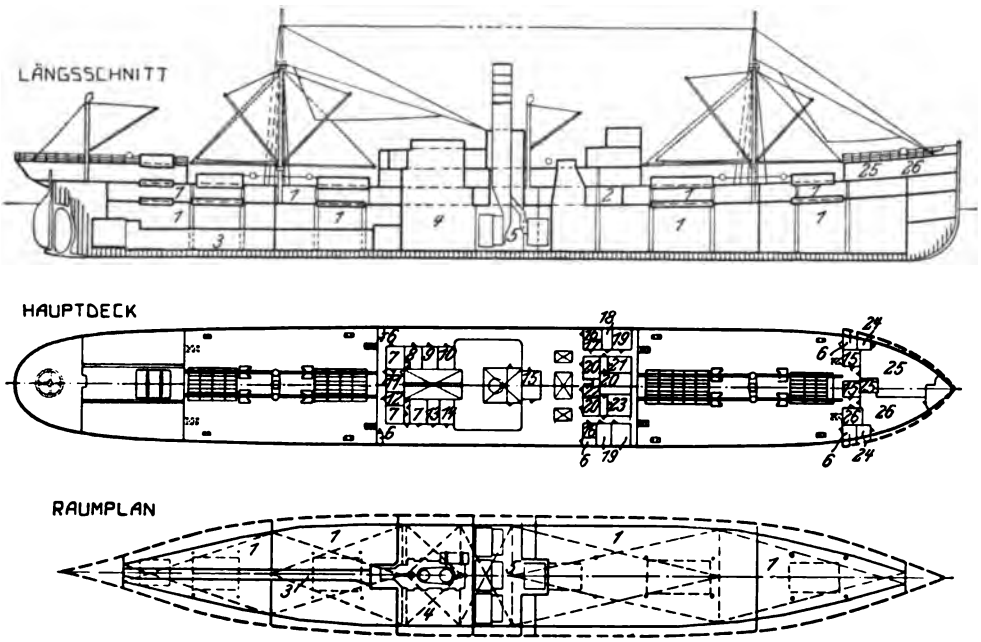


Abbildung 8. Großer Frachtdampfer „Birkenfels" (s. Abbildung 7).

1. Laderäume	5. Kesselraum	9. Hospital	13. Zimmermann	17. Tagesproviant	21. Lotse	25. Heizer
2. Wasserballast	6. W. C. oder Bad	10. Signallaternen	14. Postraum	18. Rettungsgürtel	22. Aufwaschraum	26. Matrosen
3. Wellentunnel	7. Maschinisten	11. Köche	15. Küchen	19. Offiziere	23. Kapitän	
4. Maschinenraum	8. Assistenten	12. Aufwärter	16. Bad	20. Speisezimmer	24. Waschräume	

Abbildung 9. Erzdampfer „Grängesberg" der W. H. Müller & Co.'s Allgemeine Skeepv. Maats. in Rotterdam. Das Schiff ist zum schnellen Laden und Löschen der Ladung mit 14 Masten und einer entsprechenden Anzahl von Ladewinden ausgerüstet. L = 134 m, B = 18,9 m, H etwa = 9,0 m, Reg. To 6750 (4380). Ind. P. S. = 2200, Geschw. = 10 Kn. Gebaut 1903 bei W. Doxford & Sons, Ltd., Sunderland.

einrichtungen versehen. Das Ergebnis des Strebens nach großer Tragfähigkeit bei äußerst geringen Herstellungskosten ist ein Preis pro Tonne Tragfähigkeit (in England „dead weight" = d. w. genannt), wie er in Deutschland nicht zu erzielen ist. Je nach den Eisenpreisen und nach dem Bedarf werden solche Schiffe mittlerer Größe für etwa 120—130 M. pro Tonne d. w. verkauft, ja der Preis ist im Jahre 1905 heruntergegangen bis auf 105 M. pro Tonne d. w. für Schiffe von 6000—7000 t.

Im Gegensatz zu Massenfabrikaten haben die großen Frachtlinienreedereien für die verschiedenen Fahrten besonders konstruierte und eingerichtete Schiffe. Als Beispiel für eine solche erstklassige Frachtreederei kann die Deutsche Dampfschiffahrtsgesellschaft „Hansa" in Bremen gelten (Abbildung 7 und 8). Die Hauptlinien dieser Gesellschaft gehen nach dem La Plata, nach Indien und Ostasien. Für den La Plata ist der Tiefgang beschränkt, das erfordert zur möglichsten Ausnutzung der Tragfähigkeit sehr volle Schiffe. Für die Fahrt nach dem Osten durch den Suezkanal liegen die Verhältnisse anders. Da flache volle Schiffe im Kanal schlecht steuern, werden die Schiffe dieser Fahrt weniger voll und in der Regel mit Balkenkiel gebaut. Die Kohlungs- und Ladungsverhältnisse ergeben für die atlantische Fahrt ganz andere Bunker-, Lade- und Ballasträume als für die asiatische Fahrt. Gemeinsam aber ist allen Schiffen der Grundsatz: bestes Material und beste Ausführung. Um nur ein paar Beispiele zu nennen, sind hier Teakholz-Wetterdecks und Bronzepropeller das Normale, und entsprechend ist die übrige Ausstattung; auch die Einrichtungen für Offiziere und Besatzung sind den langen Fahrten angepaßt und sichern der Gesellschaft gutes Personal. Schiffe dieser Art von 7000—8000 t Tragfähigkeit kosten etwa 170 bis 180 M./t d. w. Ähnliche Prinzipien sind bei anderen großen Frachtlinienreedereien des Auslandes und Inlandes (z. B. Deutsch-Australische Dampfschiffs-Gesellschaft) zu finden und auch auf den reinen Frachtschiffen der Hamburg-Amerika-Linie und des Norddeutschen Lloyd zur Anwendung gekommen.

Ladeeinrichtungen. Die modernen Häfen stehen in engem Zusammenhang mit dem Schiffsbetrieb, nicht nur bei den Zufahrten und Anlegeplätzen, sondern auch bei den Lagerräumen neben den Kais und bei den Krananlagen. Hafen und Schiff ergänzen und beeinflussen sich gegenseitig. Mit der wachsenden Größe der Schiffe mußte nicht nur die Breite und Tiefe der Einfahrten und Schleusen, sondern auch die Tiefe der Lagerräume vermehrt werden, um in der Schiffslänge Platz zu schaffen für den Inhalt seiner Laderäume; und ebenso fordert das größere Schiff für die Abkürzung der Liegezeit eine Vermehrung der Krane nach Zahl und Leistung. Mit der Zunahme der Krananlagen an Land könnten die Ladeeinrichtungen an Bord vermindert werden, wenn alle Häfen mit solchen Einrichtungen versehen wären und wenn nur nach der Landseite mit der Ladung gearbeitet würde. Die meisten Schiffe sind heute jedoch noch genötigt, Ladebäume, Winden und Krane in großer Zahl mitzuführen, weil viele wichtige Häfen des Auslandes gar keinen Landkran oder nicht einmal Kais besitzen, so daß aus und in Leichter (längsseitliegende Kähne) gearbeitet werden muß. Auch in europäischen Häfen wird viel Ladung für kleinere Seehäfen oder für das Binnenland mit den Schiffskranen in Leichter gegeben.

Abbildung 10. Amerikanischer Binnenseedampfer „Coralia" der Pittsburgh Steamship Co. im Black River zwischen den großen Seen Nordamerikas. Die Frachtdampfer auf den großen Seen können infolge der gleichartig durchgeführten großartigen Landanlagen zum Übernehmen und Löschen der Ladung Winden und Masten ganz entbehren. Die beiden Pfahlmasten dienen nur Signalzwecken. L = 126 m, B = 14,6 m, Reg.To 4330 (3350). Gebaut 1896 bei Globe Iron Works Co., jetzt American Shipbuilding Co. in Cleveland (Ohio).

Aus diesen Gründen sind die Ladeeinrichtungen an Bord unserer europäischen Frachtdampfer vorläufig noch von Wichtigkeit und groß an Zahl: 20 und mehr Ladebäume, dazu fast ebensoviel Dampfwinden und Krane sind nichts Ungewöhnliches. Bei Schiffen in kurzer Fahrt (z. B. für Kohlen- oder Erztransport in der Nordsee) kommt es sehr darauf an, den Hafenaufenthalt für Löschen und Laden auf das äußerste abzukürzen, deshalb werden zur Anbringung der Bäume die Masten vermehrt und häufig, um nach beiden Seiten bequem zu arbeiten, Doppelmasten angeordnet. Das Bild eines solchen Dampfers mit einem Wald von 14 Masten zeigt die Abbildung 9.

Abbildung 11. Amerikanischer Binnenseedampfer beim Übernehmen der Ladung mit Schüttrinnen.

Im Gegensatz dazu gibt es aber auch Frachtschiffe ohne jede Ladeeinrichtung (Abbildung 10); am weitesten ausgebildet ist das Zusammenarbeiten von Land und Schiff

Abbildung 12. Amerikanischer Binnenseedampfer „Uranus" beim Löschen der Ladung mit Greifern. L = 105,5 m, B = 14,6 m, Reg.To 3748 (2943). Ind. P.S. = 2000. Gebaut 1901 von der Detroit. Shipbuild. Co., Wyandotte.

an den Binnenseen Nordamerikas, die ein in sich abgeschlossenes, gleichartig angelegtes Handelsgebiet darstellen. Erz und Getreide kommen aus dem Westen mit der Eisenbahn an den Lake Superior und werden im Süden und Osten von den großen Industriestädten, z. B. Chicago, Cleveland, Buffalo, gebraucht. Als Rückfracht wird Kohle aus Pennsylvania geladen. Eisenbahn, Kaianlagen, Uferkran und Schiffe sind nach einheitlichem Plan angelegt. Die Eisenbahnwagen entleeren sich in große Sammelräume, von diesen münden Schütten über den Schiffen (Abbildung 11), deren Luken den gleichen Abstand haben wie die Schütten und ununterbrochen bis zu 36 voreinander angeordnet werden können, da die Maschinenanlage hinten liegt, um einen ungestörten Laderaum zu erhalten (Abbildung 10 u. 12). In gleicher Weise arbeiten am Endhafen Krane mit Greifern oder Eimern in gleichen Abständen aus allen Luken. Etwas so Vollkommenes ist in der Ozeanschiffahrt nicht zu finden; immerhin sind aber Anfänge davon im Kohlen- und Erztransport auch in Europa vorhanden, z. B. im Hauptkohlenexportplatz Cardiff und in Narvik, einem der Haupterzexportplätze. Auch die großen Empfangshäfen fangen an, sich für schnelles Löschen an Land mit Greifkranen auszurüsten; in Europa aber wird in absehbarer Zeit kaum eine solche Einheitlichkeit der Ladeeinrichtungen zu erzielen sein wie an den nordamerikanischen Binnenseen.

Laderäume. Die früher genannten Tramps und Linienfrachtschiffe sind in der Hauptsache für Stückgüter eingerichtet, können aber auch mit Massengütern beladen werden. Die Laderäume der Kohlendampfer weichen in der Regel nicht erheblich von denen für Stückgüter ab, ein gegenseitiger Austausch ist zwischen solchen Schiffen in begrenztem Maße möglich. Auch für Getreide, Holz oder Baumwolle sind sie unter Umständen brauchbar, in der Holzfahrt muß allerdings Deckladung genommen, und für Baumwolle müssen provisorische Schutzaufbauten aus Holz und Segeltuch

aufgesetzt werden, wenn das Schiff so viel laden soll, wie sein Tiefgang gestattet. Drei Arten von Massengütern aber erfordern infolge ihrer Eigenschaften besondere

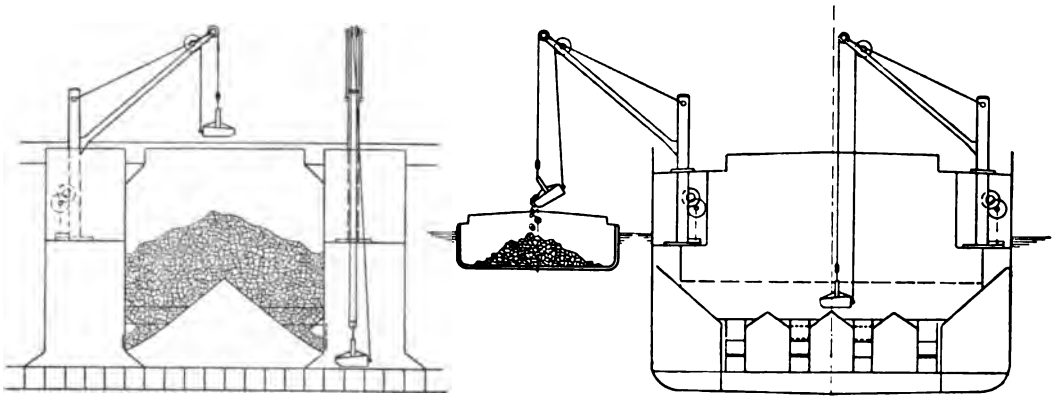


Abbildung 13. Erzdampfer „Vollrath Tham" der Rederi Aktieb. Luleå-Ofoten. Einrichtung zum Löschen der Ladung: das Erz fällt durch Klappen aus dem Laderaum in eiserne Kübel, die durch elektrische Krane hochgewunden, über Bord gedreht und dort an Land oder in Schuten entleert werden. Das Laden geschieht mit Schüttrinnen wie auf Abbildung 11. L — 118 m, B — 17,25 m, H — 9,42 m, Reg.To — 5826 (3315). Gebaut 1909 bei Hawthorn, Leslie & Co. Ltd., Newcastle.

Laderäume, die für andere Ladung kaum verwendbar sind; das ist Erz, Petroleum und Fleisch. Erz ist eine Ladung von hohem spezifischem Gewicht, es nimmt daher nur einen kleinen Teil des Raumes ein. In einem gewöhnlichen Frachtdampfer würde es nur den Boden bedecken und durch diese tiefe Gewichtskonzentration die Schiffe viel zu stabil machen; bei heftig schlingerndem Schiff könnte das Erz von einer Seite auf die andere rollen („überschießen") und das Schiff in schiefe Lage bringen. Eine Ansammlung der ganzen Ladung in einem Raum würde eine sehr ungünstige Beanspruchung des Schiffes ergeben und beim Seegang die Verbände lockern. Es muß also ein Raum geschaffen werden, nicht größer als nötig, aber verteilt in Länge und Höhe mit Rücksicht auf die Festigkeit und Stabilität des Schiffes; eine Beschränkung des Laderaums ist auch wünschenswert mit Rücksicht auf die Schiffsvermessung zur Verminderung der Hafenabgaben.

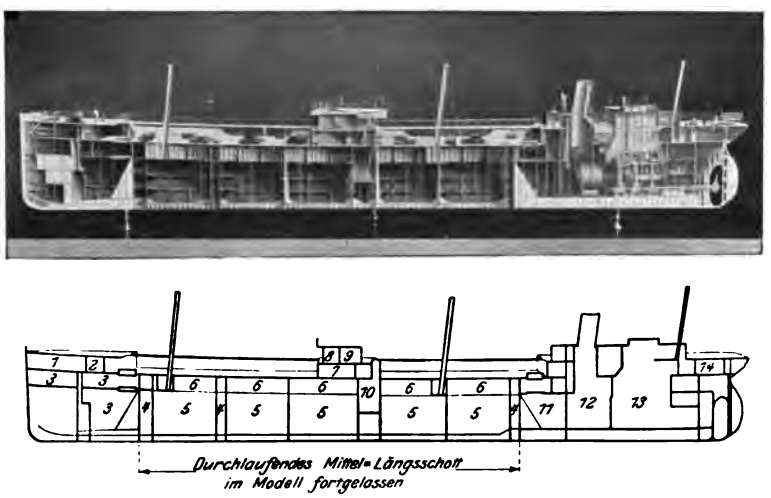


Abbildung 14 und 15. Petroleumtankdampfer (Schnittmodell), erbaut von Armstrong, Witworth & Co. Ltd., Newcastle. Die Tankräume werden durch ein Mittellängsschott in zwei Teile geteilt, das bei dem Modell bis auf die Dreiecksplatten an den Enden fortgelassen wurde, um den Einblick in die Räume zu gestatten. L — etwa 90 m, Brutto-Reg.To — etwa 3000.

1. Mannschaft
2. Lampen und Öl
3. Laderäume
4. Kofferdämme, das sind Sicherheitsräume z. Abschluß d. Ölräume
5. Ölräume
6. Expansionstank
7. Kapitän
8. Ruderhaus
9. Kartenhaus
10. Pumpenraum
11. Kohlenbunker
12. Kesselraum
13. Maschinenraum
14. Messe

Aus diesen Überlegungen sind besondere Erzdampfer entstanden, die entweder (wie in Amerika) für das Arbeiten mit Greifern geformte Laderäume mit glattem Boden und schrägen Seiten besitzen oder bei Bedienung durch Schiffskrane das mit Rücksicht auf die Stabilität hochgelagerte Erz direkt in Kübel laufen lassen (Abbildung 13).

Ebenso bedarf das Öl (Rohöl, Petroleum, Benzin, Schmieröl), bisher die einzige flüssige Massenladung, besonderer Sorgfalt der Stauung. Flüssige Ladung (dasselbe gilt auch für Wasserballast) bleibt in großen Mengen in freien Räumen eine Gefahr für das Schiff. Bei seitlicher Bewegung schießt die flüssige Ladung sofort nach der geneigten Seite, erhöht dadurch die Neigung und kann zum Kentern führen. Deshalb erhalten Öldampfer (für die wenigen Segler, die Petroleum im Raume fahren, gilt dasselbe) eine große Unterteilung des Laderaums längs und quer, und außerdem erhält jeder Raum einen Schacht, den die Ladung etwa bis zur Hälfte füllt, so daß nur kleine freie Oberflächen vorhanden sind, in denen das Öl bei Neigungen überschießen kann (Abbildung 14 und 15). Äußerlich erkennbar sind Petroleumdampfer in der Regel daran, daß ihr Schornstein hinten steht (nicht in der Mitte, wie sonst üblich). Man ordnet bei diesen Schiffen die Maschinenanlage hinten an, um die Feuersgefahr zu vermindern, da der Maschinenraum nur nach vorn gegen das Öl durch einen Isolierraum geschützt, und außerdem der Wellentunnel nicht durch den Laderaum geführt zu werden braucht. Das Laden und Löschen solcher Tankdampfer geschieht mit Pumpen und Rohrleitungen von und zu den Vorratstanks, die etwa in der Größe von großstädtischen Gasbehältern an den Hauptplätzen des Petroleumhandels in der Nähe der Petroleumhäfen stehen.

Abbildung 16. Wohn- und Schlafraum der 4. Klasse (Zwischendeck) auf einem großen Dampfer des Norddeutschen Lloyd.

Die Beförderung von lebendem Vieh oder gefrorenem Fleisch, die in anderen Staaten, besonders England, eine große Bedeutung hat, hat leider seit Jahrzehnten durch die Grenzsperre in Deutschland aufgehört; vielleicht kommen wir aber doch noch einmal wieder zur Einfuhr billigen Fleisches, an dem z. B. in Südamerika Überfluß vorhanden ist. Solche Ladungen können nur in Spezialschiffen mit isolierten Räumen und großen Kühlanlagen verfrachtet werden.

PERSONENBEFÖRDERUNG ÜBER SEE. Auch auf diesem Gebiete herrscht große Mannigfaltigkeit in Form und Inhalt. Da sind zunächst die Auswandererschiffe, charakterisiert durch mittlere Größe (etwa 140 m) und Geschwindigkeit (12—14 Sm). Sie nehmen neben viel Ladung nur wenig Kajütspassagiere in einfachen Kammern und Salons; die Räume für die Auswanderer können in kurzer Zeit durch Heraus-

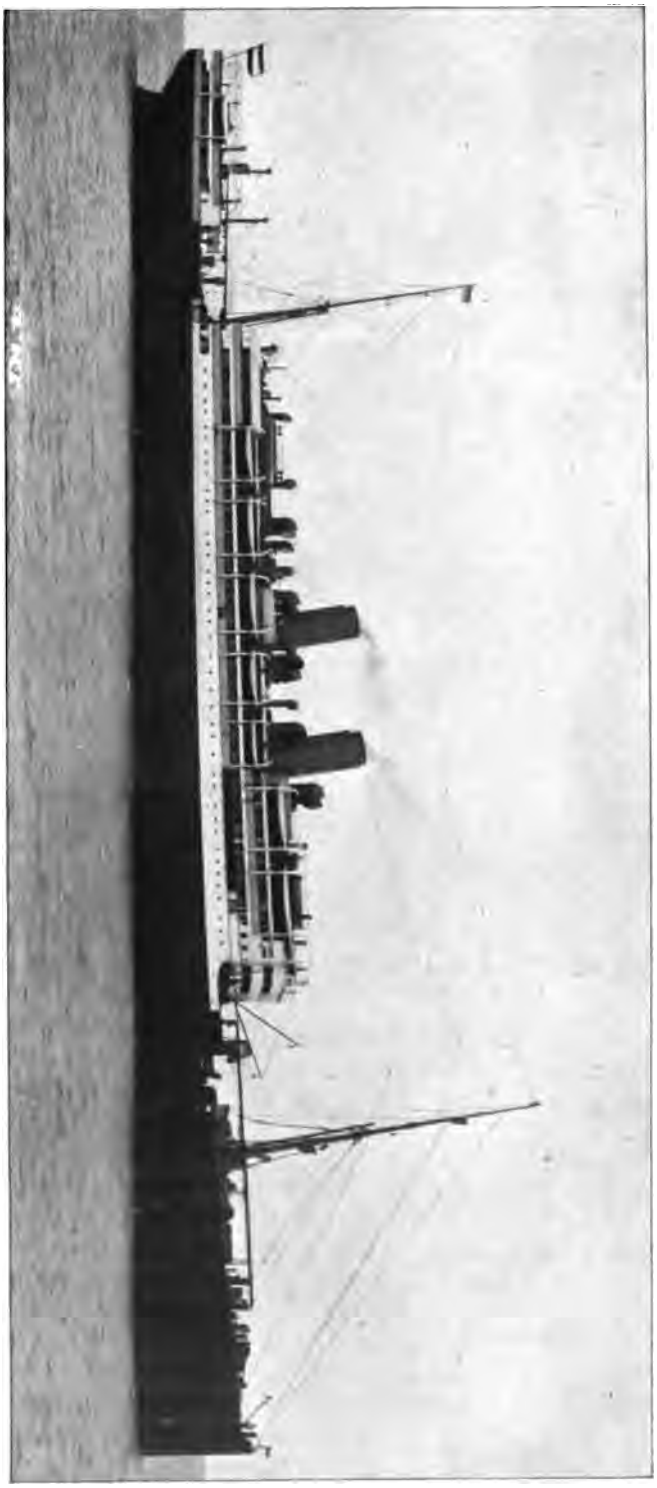


Abbildung 17. Großer Passagier- und Frachtdampfer „Prinz Friedrich Wilhelm" des Norddeutschen Lloyd in Bremen für die Fahrt nach New York. L = 179,84 m, B = 20,82 m, H = 12,72 m, Reg.To = 17082 (12107), Ind. P.S. = 14500, Geschw. = 17,5 Kn. Gebaut 1907 bei Joh. C. Tecklenborg A.-G., Geestemünde.

nehmen der Betten, Tische und Schränke in Laderäume für Rückfracht umgewandelt werden (Abbildung 16). Die Schiffe unterscheiden sich dann von großen Frachtdampfern nur durch die um ein bis zwei Deck höheren mittleren Aufbauten für die Kajütspassagiere. Beispiele dieses Typs geben die Dampfer der Städteklasse des Norddeutschen Lloyd und ähnliche der anderen großen Gesellschaften.

Als zweiter Typ können die Reichspostdampfer gelten. Sie haben durchweg zwei Schrauben und eine größere Geschwindigkeit (15—18 Sm), lange und hohe Aufbauten für Passagiere I. und II. Klasse, mit erheblich größeren und eleganteren Salons und Promenaden; die Laderäume, die in den oberen Decks bei Bedarf mit Passagieren III. Klasse besetzt werden, sind zwar reichlich vorhanden, aber die Tragfähigkeit ist doch im Verhältnis zur Größe des Schiffes gering, da sehr viel Platz in den Unterräumen für die Maschinenanlage, die Kohlen und die Bedienung und Vorräte für die Passagiere in Anspruch genommen wird. Beispiele dieser Art sind die Schiffe der Feldherrn- und Prinzenklasse des Norddeutschen Lloyd und der Hamburg-Amerika-Linie (Abbildung 17, 18 und 19), sowie die besten Dampfer der Hamburg-Südamerika-Linie, Deutschen Ostafrika- und Woermann-Linie und der Kosmos-Linie.

Einen großen Abschnitt in der Entwicklung der Personen-

beförderung über See bilden die Schnelldampfer des Norddeutschen Lloyd, die im regelmäßigen Turnus von vier Wochen den Verkehr von Bremerhaven nach New York mit ca. 40000 ind. P.S. und einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 23,5 Sm vermitteln; gebaut in den Jahren 1896 bis 1906, waren sie jahrelang unbestritten die schnellsten Personendampfer und haben ihren Bestellern und Erbauern, dem Norddeutschen Lloyd und dem Stettiner Vulcan, Weltruf verschafft (Abbildung 20 und 21). Sie sind heute noch glänzende Erscheinungen, wenn auch die überprunkvolle Ausstattung der Salons (Abbildung 22) nicht mehr dem geläuterten Geschmack der Jetztzeit entspricht, der einfache Formen und Farben dem überladenen Prunk vorzieht (Abbildung 25). Übertroffen sind die Schnelldampfer durch die beiden bekannten Schiffe der Cunard-Linie, „Lusitania" (Abbildung 23) und „Mauretania", die mit einem Mehraufwand von etwa 30000 ind. P.S. eine nur 2—3 Sm größere Geschwindigkeit erreicht haben. Diese überraschende Tatsache bedarf etwas näherer Erklärung.

Abbild. 18. Großer Passagier- u. Frachtdampfer „Prinzeß Irene" des Nordd. Lloyd, Ladung nehmend mit hydraul. Kranen. L = 159,56 m, B = 18,34 m, H = 10,58 m, Reg. To = 10881 (8511), ind. P.S. = 8000, Geschw. = 15,5 Kn. Gebaut 1900 auf den Vulcanwerken, Stettin.

Abbildung 19. Kammer III. Klasse auf einem neueren Dampfer der Hamburg-Amerika-Linie.

Bei gleichgroßen Schiffen stehen die für zwei verschiedene Geschwindigkeiten erforderlichen Maschinenleistungen im Verhältnis von ungefähr den Kuben der Geschwindigkeiten; diese gesetzmäßige Beziehung zieht dem Geschwindigkeitsfortschritt eine natürliche Grenze. Für die langen Seereisen müßte auch der Kohlenvorrat beinahe im Verhältnis der Maschinenleistung zunehmen. Da nun auf den Schnelldampfern der ganze Unterraum schon besetzt ist mit

Maschinenanlage, Kohlen oder Proviant (Abbildung 21), so daß die Schiffe kaum noch Ladung nehmen können, so ergibt sich, daß diese Schiffe keinen Raum und kein Gewicht mehr für eine Vergrößerung der Maschinenanlage übrig haben, wenn sie ihren Bau- und Betriebskosten entsprechend Platz für Passagiere behalten wollen.

Eine Vergrößerung der Geschwindigkeit ist also nur möglich durch größere Schiffe, die dann natürlich schon für gleiche Geschwindigkeit mehr Maschinenleistung brauchten als die Schnelldampfer des Norddeutschen Lloyd. So erklärt sich, daß für eine Vermehrung der Geschwindigkeit von 23,5 auf 26 Sm nahezu eine Verdoppelung der Maschinenleistung bei „Lusitania" und „Mauretania" notwendig geworden ist. Für diese Leistungen von 70000 ind. P.S. waren dann Kolbenmaschinen nicht mehr gut ausführbar, schon „Kaiser Wilhelm II." mußte doppelte Maschinen für jede Welle erhalten, und man ist daher zu den Dampfturbinen übergegangen, die Parsons in

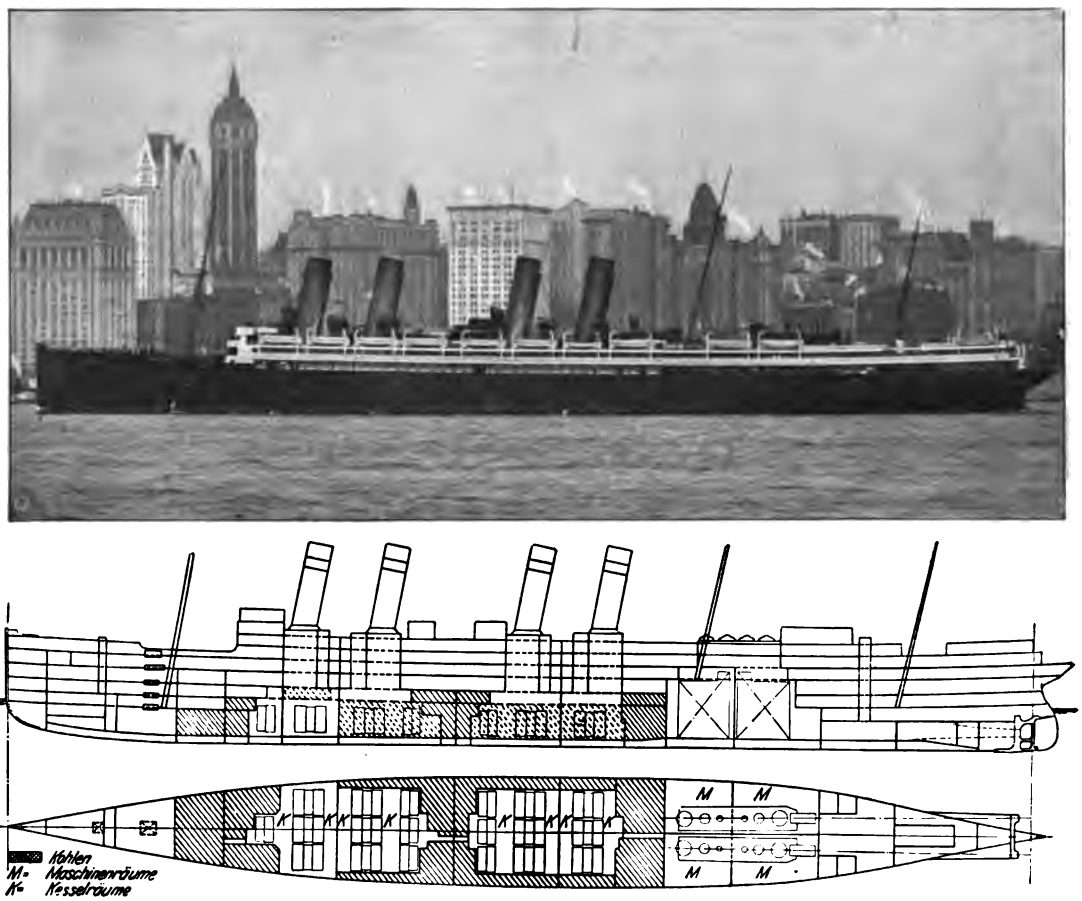


Abbildung 20 und 21. Zweischrauben-Schnelldampfer „Kaiser Wilhelm II." des Norddeutschen Lloyd vor den Wolkenkratzern im Hafen von New York. L = 208,9 m, B = 22,02 m, H = 13,46 m, Reg.To = 19503 (6584), ind. P.S. = 40000, Geschw. = 23,5 Kn. Gebaut 1902 auf den Vulcanwerken, Stettin.

kürzester Zeit aus bescheidenen Anfängen zu hoher Vollkommenheit und größter Verbreitung in England gebracht hat (s. S. 133).

Bedenkt man, daß diese Schiffe mit ihrem kolossalen Kohlenverbrauch von etwa 50 t (d. h. 5 Eisenbahnwaggons) pro Stunde nur durch hohe Staatssubvention bezahlt

und unterhalten werden können, so muß man sie zwar als technische Höchstleistung anerkennen, aber sie ermutigen nicht zur Nachahmung.

Den Höhepunkt der Personenbeförderung über See bilden heute auch nicht die Schnelldampfer, sondern die großen Luxusdampfer mit etwa 20—22 Sm Geschwindigkeit, wie sie die Hamburg-Amerika-Linie seit Jahren in Dienst hat („Augusta Viktoria", „Amerika") und durch stete, immer größere Neubauten selbst übertrifft; auch der Norddeutsche Lloyd („George Washington", und Neubau 1912) und die größten englischen Reedereien (White-Star-Line, Cunard-Line) haben neuerdings diesem Typ den Vorzug gegeben, der allerdings vorläufig nur auf der meistbesuchten Straße des Weltverkehrs, auf dem Wege nach New York, genügende Besetzung finden kann. Der Hauptvorzug dieser Schiffe ist ihre absolute Größe, die sich auch bei schlechtem Wetter nicht so leicht aus der Ruhe bringen läßt. Die für eine Größe von ca. 25000 Brutto-Registertonnen geringe Maschinenleistung von etwa 20000 ind. P.S. für die „Amerika" gibt so gut wie gar keine Erschütterung des Schiffes. Die Größe gibt ferner Raum zu allem erdenklichen Komfort, der auch von der großen Mehrzahl der Passagiere bei vollem Wohlbefinden während der ganzen Reise genossen werden kann (Abbildung 24 und 25). Eine siebentägige Fahrt auf solchen Schiffen kann niemals langweilig werden, jeder Tag bringt neue, interessante Entdeckungen in dem ungeheuren Gebäude; eine Beschreibung müßte in dem engen Rahmen dieses Buches zu unvollständig bleiben, möge niemand die Gelegenheit versäumen, sich ein solches Weltwunder zu besehen, sei es im Hafen von Bremerhaven oder Cuxhaven — diese Mammutdampfer können nicht weiter hinauffahren — oder weit besser auf der Fahrt nach England, die für den billigen Preis von 60 M. eine Fülle der Anregung bietet.

Abbildung 22. Speisesaal I. Klasse auf einem Schnelldampfer des Norddeutschen Lloyd. Das Bild zeigt den überladenen Geschmack, der noch am Anfang des Jahrhunderts herrschte.

Das reisende Publikum, besonders die Amerikaner, wollen immer neue Sensation; die Technik kann noch viel mehr leisten, wenn es verlangt wird, und so entstehen immer größere Schiffe für die Fahrt nach New York. Kürzlich erst sind die beiden Schiffe „Olympic" und „Titanic"* von 45000 Brutto-Registertonnen für die White-Star-Line fertig geworden, die Cunard-Line hat zwei noch größere in Auftrag gegeben, und für die Hamburg-Amerika-Linie werden drei Schiffe von über 50000 Brutto-

* Untergegangen am 15. April 1912.

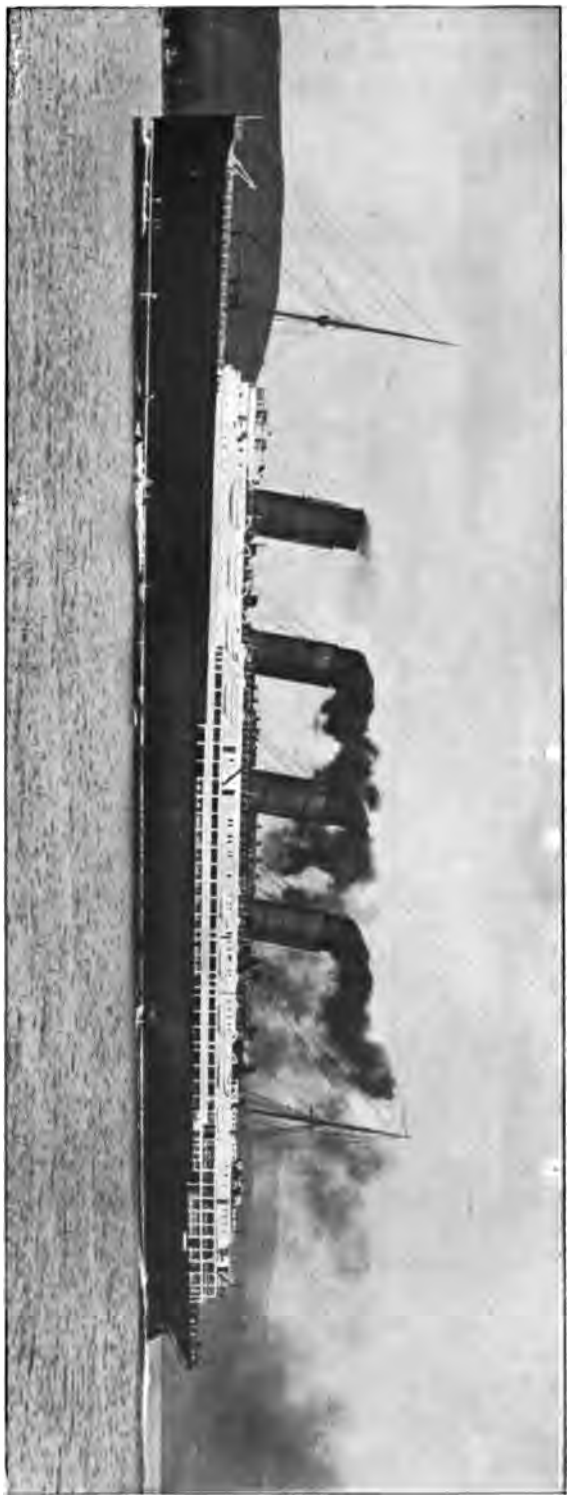


Abbildung 23. Vierschrauben-Turbinen-Schnelldampfer „Lusitania" der Cunard Steamship Co. in Liverpool. L = 232 m, B = 26,75 m, H = 17,25 m, Reg. To = 31 550 (24561), ind. P.S. = 70000, Geschw. = 25,5 Kn. Gebaut 1907 bei J. Brown & Co., Ltd. in Glasgow.

Registertonnen gebaut, von denen das erste, der „Imperator", im Mai 1912 abgelaufen ist (Abbildung 26, 27 und 28).

Die geschilderten Typen der Personenschiffe kann man sich am besten als Kombination von Eisenbahnzügen und Hotels klarmachen:

Typ 1: langsamer Personenzug, gutes Mittelstadthotel, geringer Komfort.

Typ 2: Eilzug, besser eingerichtet, mittleres Großstadthotel.

Typ 3: Schnellzug, schnell, eng und ungemütlich; überbesetzte Hotels des Auslandes in der Saison.

Typ 4: Luxuszug mit allem Komfort, größte Hotels.

FISCHEREI-FAHRZEUGE. Von der Höhe der Luxusdampfer führt der gemeinsame Name Schiff zu dem kleinsten seegehenden Typ: den Fischereifahrzeugen. Leider hat die weitvorgeschrittene Technik des 20. Jahrhunderts, die mit ihren besten Kräften nach oben, nach dem Großen strebt, sich dieser Sonderklasse noch nicht in dem wünschenswerten und notwendigen Umfang angenommen. Die Fischer, unter den konservativen Seeleuten die konservativsten, halten auch unter veränderten Bedingungen an ihren seit Jahrhunderten überlieferten Fahrzeugen fest, wenn sie durch die Entwicklung der Seestädte, durch die Vertreibung der Fische aus den Flußmündungen infolge von Verkehr und Abwässern gezwungen werden, aus den sicheren Flüssen und Watten auf die hohe See zur Ausübung ihres Gewerbes zu fahren. Schwere Unglücksfälle, Verluste ganzer Fischerflotillen sind die traurige Folge gewesen.

Aber auch bei den für die Hochsee gebauten Seglern und Dampfern zum Fang von Heringen und Frischfischen haben erst schwere Verluste dazu geführt, daß Schiffbau und Schiffahrt sich eingehender mit diesem Zweig der Technik beschäftigten. Gefährlich ist und bleibt der Beruf der Hochseefischerei, um so mehr aber müssen die Fahrzeuge mit allen modernen Mitteln der Technik versehen werden (Abbildung 29). Viel hat der Deutsche Seefischereiverein zur Hebung der wirtschaftlichen Lage der Fischer, zur Verhütung von Unfällen aus Unkenntnis und Fahrlässigkeit, zur technischen Verbesserung der Betriebsmittel getan, trotzdem bleibt noch viel auf diesem Gebiet zu tun, und es wäre sehr zu wünschen, wenn dem Bau der Fischereifahrzeuge sich sorgfältige, aber unternehmende Ingenieure zuwenden wollten; die Tätigkeit ist sicher mindestens so interessant wie der Bau von Sportfahrzeugen. Auch für die Fischerei gilt es, im kleinsten Rahmen Brauchbares mit wenig Material zu bauen, dazu aber kommt als Schwierigkeit und Besonderheit die Anpassung an die Eigenheiten der verschiedenen Fangarten und die Rücksicht auf möglichste Einfachheit und Billigkeit, sowie bei den maschinellen Anlagen auf unsachgemäße Bedienung.

Abbildung 24. Kaiserzimmer (Luxuskabine) auf dem Dampfer des Norddeutschen Lloyd „George Washington", L = 213,09 m, B = 23,84 m, H = 16,46 m, Reg. To = 25 570. Gebaut 1908 auf den Vulcanwerken, Stettin.

Abbildung 25. Gesellschaftssalon I. Klasse auf dem Dampfer des Norddeutschen Lloyd „George Washington".

In der Fischerei wird das Segel noch ausgiebig verwendet, und diese billige und einfache Betriebskraft wird auch für viele Zwecke brauchbar bleiben. Zur Ergänzung aber, bei Stille und widrigem Wind, ist der Motorantrieb in der Einführung, um den Fang recht schnell und frisch auf den Markt zu bringen. Weit voraus sind auf diesem Gebiet die Nordländer, besonders Dänemark, dessen Motorfischereiboote bereits nach Tausenden zählen, und Nordwestamerika. In den Anfängen der Entwicklung steht Deutschland. Auch hier hat der Deutsche Seefischereiverein rechtzeitig hilfreich eingegriffen.

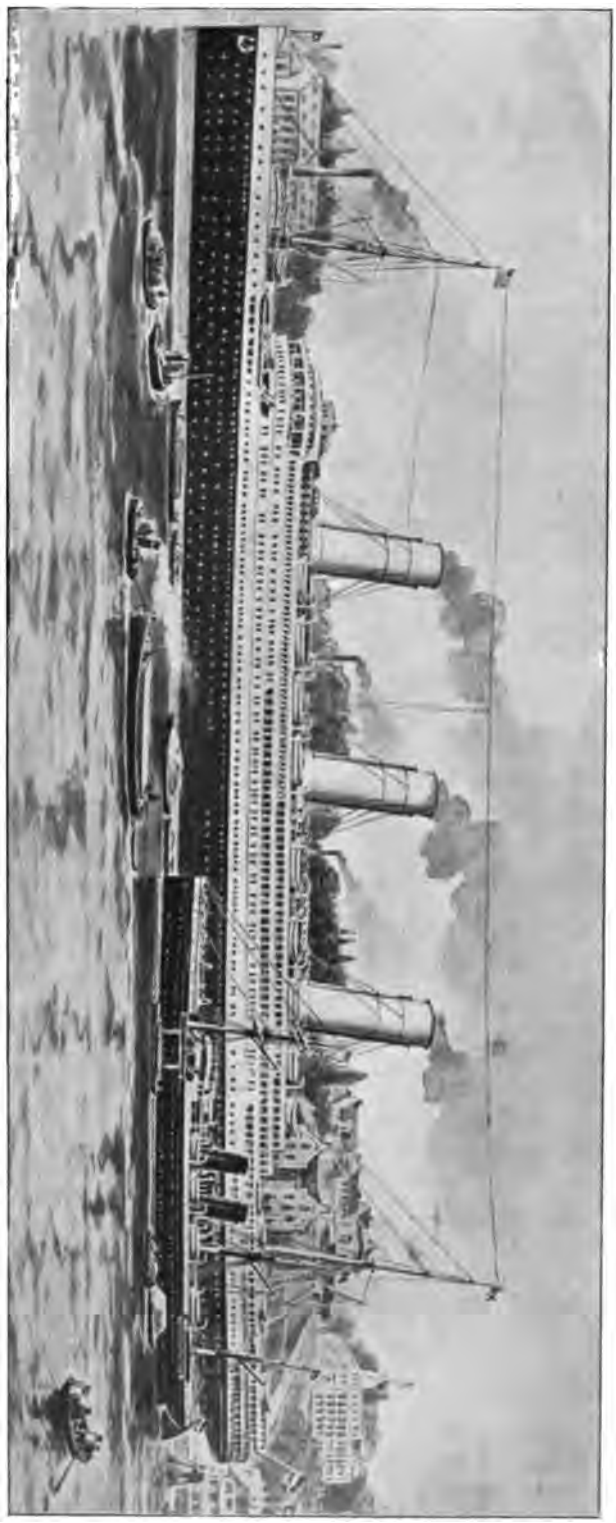


Abbildung 26. Riesendampfer „Imperator" der Hamburg-Amerika-Linie im Vergleich mit dem größten Schiff derselben Linie im Jahre 1883 „Hammonia III" am Jonas, dem alten Landungsplatz der Gesellschaft in Hamburg. L = etwa 276 m, B = etwa 30 m, H bis zum obersten durchlaufenden Deck = etwa 20 m, Reg.To = etwa 50000. Gebaut 1910—1913 auf den Vulcanwerken, Hamburg.

Schon 1896 hat er durch ein Preisausschreiben die Frage der Hilfsmaschine für Heringslogger in Fluß gebracht. Vor zwei Jahren ist wieder ein Ausschreiben ergangen zur Erlangung brauchbarer Motoren deutschen Fabrikats für die kleine Fischerei; hierdurch ist die Motorindustrie lebhaft angeregt worden. Auch die Hochseefischerei auf Hering und Frischfisch fängt an, die Segel durch Motoren zu unterstützen und bei Neubauten an Stelle der Dampfmaschinen Motoren zu wählen.

Bei der Entwicklung der kleinen Motorschiffahrt hat der Motorboots-Sport einen wesentlichen Anteil an den ersten Versuchen. Die Technik, kühn in Gedanken und in der Ausführung, kann der Mitwirkung mutiger Männer für die Verwendung ihrer Neuerungen nicht entbehren. Diese Vorposten in unbekannten Geländen liefert unserer sonst an Gelegenheit zur Betätigung von Mut nicht reichen Zeit der Sport. Wenn auch die Anforderungen an Rennboote und Gebrauchsboote durchaus verschieden sind, so haben die Motorbootsrennen doch einmal gezeigt, bis zu welchen Höchstgrenzen Leichtigkeit und Leistung, wenn auch nur für kurze Zeit, gesteigert werden können. So bildeten die Motoren für Sportzwecke die unentbehrliche Anregung für den Konstrukteur und die notwendige Reklame für ein neues Kraftmittel in der Schifffahrt, und in der weiteren Entwicklung bildete die Motorfischerei eine Vorschule für die große Motorschiffahrt.

GROSZMOTOR-SCHIFFE. Über die technischen Aussichten der Großmotoren für Schiffe ist unter „Schiffsmaschine" Näheres zu finden; hier soll aber doch etwas auf die Änderungen eingegangen werden, die den Schiffen aus dem neuen Antriebsmittel erwachsen. Die beim Dampfer von Maschine, Kessel und Kohlen eingenommenen Gewichte, Räume und Kosten, ferner die Kosten für das Bedienungspersonal der Maschine und Kessel, sowie die Schwierigkeiten, die sich in neuerer Zeit gerade beim Heizerpersonal mehren, machen alle Bestrebungen nach Vereinfachungen und Ersparnissen in dieser Richtung für die Reedereien sehr wertvoll, für die das Schiff nur ein sehr teures und umständliches Betriebsmittel ist. Gleich groß aber ist das Interesse der Schiffbauindustrie, die im Tatendrang ewiger Jugend dauernd nach Verbesserungen strebt. Kommt die Frage der großen Motorschiffe zur Lösung, so sind in kurzer Zeit die Dampfer veraltet, ihre Betriebskosten sind zu hoch, um konkurrieren zu können, sie müssen durch neue Schiffe ersetzt werden oder doch für die Motoranlage umgebaut werden. Diese nüchterne Erwägung, dieser Drang nach vermehrter Arbeit macht die Motorfrage nicht nur zu einem Problem des Schiffsmaschinenbaues, sondern zu einer der wichtigsten Fragen des Schiffbaues. Alles drängt auf die Lösung, und doch sind noch mancherlei Schwierigkeiten zu überwinden. Bis vor kurzem war die Leistung der Motoren für die große Schiffahrt zu gering, die Umdrehungen für eine gute Schraubenwirkung zu hoch, die Umsteuerung und Leistungsregulierung zu unsicher, der Preis zu hoch. Die Leistungen sind dauernd gesteigert, es sind Maschinen in Arbeit für mehrere tausend Pferdestärken, auf dem Papier ist auch schon der Motorantrieb der

Abbildung 27. Haupttreppenhaus auf dem Riesendampfer „Imperator" der Hamburg-Amerika-Linie.

Abbildung 28. Schwimmbad auf dem Riesendampfer „Imperator" der Hamburg-Amerika-Linie.

Abbild. 29. Hochsee-Fischdampfer[1] „Neckar" der Deutschen Dampfschifferei-Gesellschaft „Nordsee" in Nordenham, im Hafen von Nordenham. L = 39,61 m, B = 7,05, H = 3,41 m, Reg.To = 274 (74), ind. P.S. = 420, Geschw. = etwa 10 Kn. Gebaut 1907 bei J. Frerichs & Co. in Einswarden a. d. Weser.

größten Handels- und Kriegsschiffe durchkonstruiert, ebenso ist die Frage der hohen Umdrehungen, der Regulierung und Umsteuerung von allen Seiten scharf angefaßt und wird befriedigend gelöst werden. Mit dem hohen Preis wird man sich vorläufig abfinden, wenn absolute Betriebssicherheit erreicht wird, denn die Vorteile des Motorschiffes sind so groß, daß selbst bei einem Preisverhältnis der Motorenanlage zur Dampfmaschinenanlage von 4 zu 3 noch erheblicher Gewinn sich ergibt.

Die erwähnten Schwierigkeiten liegen aber keineswegs nur beim Motor. Ebenso wichtig, ja die Voraussetzung für die Entwicklung, ist die Möglichkeit, den Brennstoff in allen wichtigen Häfen zu allen Zeiten zu einem annehmbaren Preise zu erhalten. Das ist Sache des Handels, in erster Linie der Reedereien, aber keineswegs einfach und schnell zu erreichen. Die Organisation des Kohlenhandels, der teilweise wie durch das deutsche Kohlendepot von verschiedenen Reedereien in eigener Regie gemeinsam geführt wird, sichert den Schiffen an bestimmten Plätzen genügend Kohle zu entsprechendem Preise. Zweifellos haben die Ölproduzenten (für die Schiffahrt kommt als Brennstoff für den Motor hauptsächlich Rohöl in Frage) selbst das größte Interesse, in ähnlicher Weise durch angemessene Preise und zuverlässige Versorgung den Bedarf in der Schiffahrt zu vermehren. Wie jede scharfe Konkurrenz wird aber eine Vermehrung der Motoren in der Großschiffahrt auch die Kohlenproduzenten veranlassen, billige Kohlen zu liefern; bis zu welchen Grenzen dies durch technische Verbesserung in der Gewinnung und Vereinfachung des Transports möglich sein wird, ist heute noch nicht zu übersehen.

Abbildung 30. Personen-Raddampfer für Küstenfahrt „Westfalen" der A.-G. Ems in Emden für den Verkehr nach den Nordseeinseln. L = 57,28 m, B = 7,18 m, H = 2,72 m, Reg.To = 385 (135), ind. P.S. = 700, Geschw. = 12 Kn. Gebaut 1907 bei Jos. L. Meyer in Papenburg a. Ems.

Abbildung 31. Turbinendampfer („Kanaldampfer") „Viking" der Isle of Man Steam Packet Co. Ltd. für die Passagierfahrt nach der Insel Man in der Irischen See. L = 107 m, B = 12,8 m, H etwa = 8,50 m, Reg.To = 1951 (247), ind. P.S. = 9500, Geschw. = etwa 23,5 Kn. Gebaut 1905 bei Armstrong Witworth & Co. Ltd. in Newcastle.

Auch die Dampfmaschinen (Kolbenmaschine und Turbine) werden durch die Konkurrenz der Motoren weiter nach der Richtung des Brennstoffverbrauchs verbessert werden. Es ergibt sich daraus, daß die Schiffahrt durch

[1] S. Anm. S. 60.

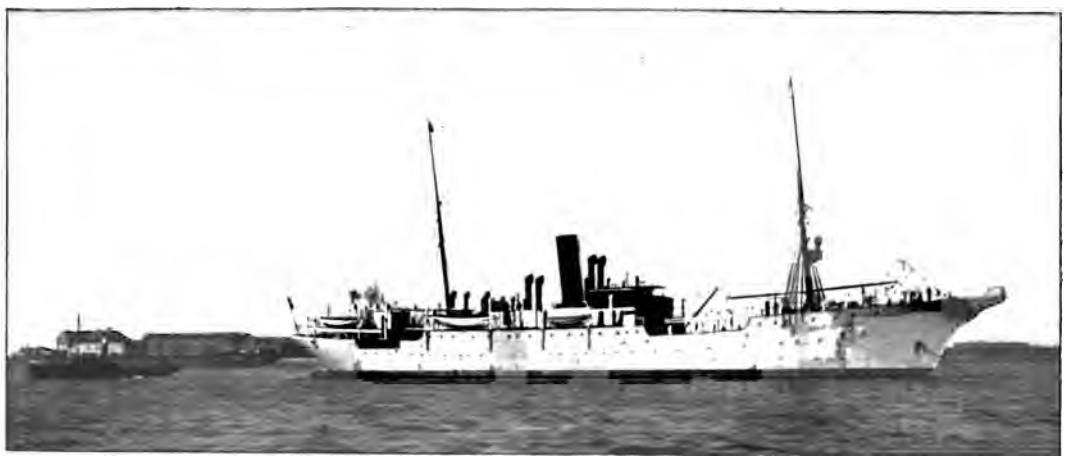


Abbildung 32. Kabeldampfer „Großherzog von Oldenburg" der Norddeutschen See-Kabelwerke A.-G., Nordenham. Charakteristisch ist die Bugform mit den Rollen zum Einholen des Kabels bei Reparaturen; gleiche Rollen befinden sich am Heck zum Legen des Kabels. L = 92,72 m, B = 12,70 m, H = 8,55 m, Reg.To = 2691 (1113), ind. P.S. = 2000, Geschw. = 12 Kn. Gebaut 1905 bei F. Schichau in Danzig.

Einführung der Motoren zwar vor gewaltigen Umwälzungen steht, daß aber heute noch nicht mit Sicherheit zu sagen ist, ob die Dampfmaschine nun allmählich ganz durch den Motorantrieb ersetzt oder wenigstens in den Hintergrund gedrängt werden wird, oder ob beide Antriebsarten, wie lange Zeit Wind und Dampf und in neuerer Zeit Kolbenmaschine und Turbine, nebeneinander bestehen bleiben werden, entsprechend den vielseitigen Anforderungen und Betriebsbedingungen der Schiffahrt, die keine Einheitlichkeit ihres Betriebsmittels und ebensowenig eine einheitliche Form des Antriebs zuläßt.

Zu diesen Zukunftsbetrachtungen führt notwendig die Beschäftigung mit den Anfängen des Motorantriebs bei der Fischerei. Der Fischerei, die, wie man vermutet, den Menschen aufs Wasser zur Seefahrt gebracht hat, ist von neuem die Rolle zugefallen, den Anfang einer großartigen Entwicklung zu bilden.

Abbild. 33. Vorderdeck eines Kabeldampfers mit großer Bugrolle und kleinen Leitrollen auf Deck; auf Deck liegen und hängen eine Reihe von Ankern und Geräten, die beim Kabellegen und -suchen gebraucht werden.

SONDERSCHIFFE. Außer den bisher behandelten Hauptgruppen der Seeschiffahrt wird unter dem Sammelnamen „Handelsschiff" alles zusammengefaßt, was nicht zur

Kriegsmarine gehört; dem direkten Handel in der Form des Güteraustausches dient aber nur ein Teil ausschließlich, nämlich die Frachtschiffe. Fracht- und Passagierschiffe dienen gleichzeitig dem Handel und Verkehr, und zwar dem Personen- und Postverkehr. Auch hierin gibt es wieder Sonderformen, bei denen der Verkehr den Güteraustausch weit überwiegt, ja ganz beiseite gedrängt hat, so die Küstenfahrer, die den Verkehr nach den Seebädern (Abbildung 30) oder über den Kanal (Abbildung 31) vermitteln, und in gewisser Hinsicht auch die Fähren, die ganze Eisenbahnzüge (z. B. über die Ostsee) bringen. Andere Schiffe werden ausschließlich für eine bestimmte Tätigkeit gebaut, z. B. die Dampfer zum Legen von Seekabeln (Abbildung 32 u. 33) und, in diesem Sinne ihr Gegenstück, die Bagger zum Heraufheben von Seegrund (Abbildung 34 und 35). Schulschiffe (Abbildung 1) sind schwimmende Fachschulen; Feuerschiffe (Abbildung 36) schwimmende Leuchttürme. Die große, eingehend besprochene Gruppe der Fischereifahrzeuge vereinigt die Tätigkeit der Gewinnung und Verarbeitung von Gütern (Frischfische und Heringe) mit deren Transport zum Markt. Die Flußschiffe endlich sind Zubringer und Verteiler des Seehandels und dienen außerdem dem inneren oder lokalen Handel und Verkehr. Aus den vielseitigen Zwecken haben sich in Verbindung mit Beschränkung des Fahrwassers, insbesondere des Tiefganges viele

Abbildung 34. Eimerbagger für die Königl. Wasserbauinspektion Emden, Leistung von 300 cbm pro Stunde bei 11 m Baggertiefe. Zur Fortbewegung dient eine Schraube. L — 52,8 m, B — 8,5 m, H — 4,3 m. Gebaut bei der Lübecker Maschinenbau-Gesellschaft, Lübeck.

Abbildung 35. Saugebagger „Leviathan", der größte der Welt, gebaut bei Cammel, Laird & Co. Ltd. in Birkenhead für Mersey Docks & Harbour Board. Leistung 10000 t Sand in 50 Min. Baggertiefe — 21 m. L — 142 m, B — 21,1 m, H etwa = 10 m, Reg.To — 8590 (8284), Geschw. 10 Kn.

eigenartige Typen von Flußschiffen entwickelt; große Kähne entsprechen den Seefrachtschiffen, sie werden geschleppt durch Rad-, Schrauben- oder Kettendampfer (Abbildung 37 und 38). Den Personenverkehr besorgen Rad- und Schraubendampfer (Abbildung 39 und 40). Zu den genannten Arbeitsschiffen treten dann schließlich

Doppelschraubendampfer im Bau (Blohm & Voß, Hamburg).

Zu Laas und Krainer:
Die Schiffe und ihre Maschinenanlagen.

Tafel II.

noch die Sport- und Vergnügungsboote. — Aus diesem Überblick ergibt sich die außerordentlich große Vielseitigkeit der sogenannten „Handelsschiffe". Gemeinsam ist ihnen vom Standpunkt der Kultur die Benutzung des erdumfassenden, länderverbindenden Wassers als Weg und Arbeitsfeld, vom Standpunkt der Technik die in seinen Grundzügen später entwickelten Überlegungen für die Konstruktion. Den einzelnen Zwecken angepaßt wird jedes Schiff durch seine Größe, seine Geschwindigkeit und seine Einrichtungen; diese drei werden im wesentlichen bestimmt durch wirtschaftliche Überlegungen aus dem Bedarf in Verbindung mit den Fortschritten der Technik.

Abbildung 36. Feuerschiff mit Hilfsmaschine „Borkumriff". Das Schiff führt an jedem Mast eine Laterne und ist mit einer Unterwasserglocken-Schallsignalanlage ausgerüstet. L = 46 m, B = 8 m, H = 5,5 m, ind. P. S. = 190. Gebaut 1911 bei Jos. L. Meyer in Papenburg a. Ems.

KRIEGSSCHIFFE. Zum Schutz der Seeschiffahrt dienen die Kriegsschiffe; unmöglich ist hier eine Darstellung ihrer technischen Eigenheiten im Rahmen weniger Seiten, zumal die Grundlagen — Panzer und Geschütze — in den früheren Bänden nicht behandelt sind. Es kann hier nur von ihrem Einfluß auf die Entwicklung der Schiffbautechnik gesprochen werden. Keinen wesentlichen Unterschied macht es für den Konstrukteur, ob er ein Handels- oder ein Kriegsschiff zu entwerfen hat; der Gedankengang ist der gleiche; wer ein großes Handelsschiff wirklich nach allen Richtungen hin durchgearbeitet hat, ist ohne weiteres in der Lage, im Kriegsschiffbau mit Erfolg zu arbeiten. Umgekehrt ist es viel schwieriger, weil im allgemeinen der Kriegsschiffkonstrukteur an die wichtigste Aufgabe des Handelsschiffes, wirtschaftlich zu arbeiten, d. h. mit einfachen Mitteln Brauchbares zu schaffen, durch seine bisherige Tätigkeit nicht gewöhnt ist; dazu kommt die sehr große Vielseitigkeit der Handelsschiffstypen, die sich aus den vielgestaltigen Aufgaben der Beförderung von Ladung und Personen ergeben, im Gegensatz zu der Einheitlichkeit der Kriegsaufgaben, die zu wenigen international anerkannten Kriegsschiffstypen geführt hat. Für die Kriegsschiffe gilt die Forderung, den militärischen Anforderungen zu genügen, ohne Rücksicht auf die Kosten. In dieser Richtung sind außerordentlich schwierige technische Aufgaben zu lösen, und die aus diesen besonderen Anforderungen entstandenen Konstruktionen haben oft befruchtend auf den Handelsschiffbau gewirkt; es seien hier nur die Verringerung der Gewichte des Schiffskörpers und besonders der Maschinenanlage, ferner schwierige Untersuchungen über Widerstand und Steuerwirkung genannt. Anderseits aber ist der Kriegsschiffbau oft in wichtigen Fragen dem lange als richtig erkannten Wege des

Abbildung 37. Hinterrad-Fluß-Schleppdampfer „Imperator" für Elbe und Oder. Zum Ausgleich des Gewichts der hintenliegenden Maschine und des Rades wird die Kesselanlage bei Heckraddampfern vorn eingebaut. L = 51,95 m, B = 8 m, H = 2,25 m, Tiefgang mit 20 t Kohlen 0,83 m, ind. P. S. = 750. Gebaut 1908 bei Caesar Wollheim, Werft und Reederei, Cosel bei Breslau.

Handelsschiffbaues erst viel später gefolgt, so in der Verwendung des Eisens an Stelle von Holz, und in einer Reihe von praktischen Einzelheiten (Anker in der Klüse, Einplattenruder, eingebaute Schraubenwellen usw.). Eine technische Führerrolle, wie sie oft behauptet wird, kann der Kriegsmarine daher nicht zugestanden werden, wohl aber findet eine gegenseitige Befruchtung statt, in der der Handelsschiffbau mit seinen weit schwierigeren Dauerbetriebsbedingungen im Verein mit den harten wirtschaftlichen Anforderungen mindestens ebenso oft der Gebende wie der Empfangende gewesen ist.

Abbildung 38. Kettenschleppdampfer „Baensch" zur Fahrt auf der Elbe zwischen Magdeburg und Bodenbach. Zur Bergfahrt dient die im Strombett liegende Kette, die über den Dampfer geführt und auf diesem um ein Kettengreifrad geschlungen ist. Zur Talfahrt dienen zwei Turbinenpropeller. L = 52,42 m, B = 8,2 m, H = 2,36 m, Tiefgang 0,7 m, ind. P. S. der Kettenradmaschine = 180; ind. P. S. der Turbinenpropellermaschinen zusammen = 240. Gebaut 1896 von der Dresdener Maschinenfabrik und Schiffswerft Uebigau A.-G.

BETRIEB UND SICHERHEIT DER SEESCHIFFE. In den vorigen Abschnitten sind die Schiffe als Ganzes behandelt worden, insbesondere nach ihrer Art und ihrem Zweck. Von den inneren Einrichtungen wird die größte und wichtigste, die Maschinenanlage und die Propulsion durch motorische Kraft, in besonderem Abschnitt behandelt, von der Propulsion durch Wind ist unter „Segelschiff" einiges erwähnt. Auch ein anderer Teil, der direkt mit dem Sonderzweck des Schiffes zusammenhängt, die Ladeeinrichtungen, sind schon unter „Frachtdampfer" behandelt, es bleiben also noch alle Teile, die mit der Navigierung zu tun haben (Steuer, Anker, Signalwesen) und die direkten Sicherheitsanlagen, wie Feuerlösch-, Schottenschließ- und Bootseinrichtung, im Zusammenhang zu besprechen.

Abbildung 39. Rheinsalondampfer „Kaiserin Auguste Viktoria" der Köln-Düsseldorfer Dampfschiffahrts-Gesellschaft für den Schnelldienst zwischen Köln und Mainz. L = 83 m, B = 8,20 (15,32) m, H = 2,90 m, ind. P. S. = 1250, Geschw. = 25 km pro Stunde (= 13,5 Kn.) Gebaut 1900 bei Gebr. Sachsenberg A.-G., Roßlau a. d. Elbe und Köln-Deutz.

Ruder. Zu dem Steuern der Schiffe dient das „Ruder", welches auf allen Schiffen hinten angebracht wird, weil es dort am wirksamsten ist und am besten geschützt werden kann; Schiffe, die häufig in engem Fahrwasser rückwärts fahren müssen, wie Fähren oder Torpedoboote, erhalten als Ergänzung noch ein kleineres Ruder vorn, das „Bugruder", das bei normalem Vorwärtsgang hochgezogen oder festgestellt werden kann. Bei der Größe der Ruderblätter, die für die größten Schiffe notwendig werden, erhalten neuerdings die Linienschiffe und großen

Kreuzer hinten zwei gleichartige Ruder, um die Beanspruchung des Ruderschaftes zu vermindern und die Sicherheit zu erhöhen.

Zum Antrieb dienen in den weitaus meisten Fällen für größere und große Schiffe eine oder mehrere besondere Dampfmaschinen, die Rudermaschinen, die bei kleinen Handelsschiffen meist mittschiffs aufgestellt werden, um sie direkt unter Aufsicht der Offiziere und Maschinisten zu haben, bei großen Handels- und Kriegsschiffen aber hinten über dem Ruderschaft, um alle Kraftleitungen zu vermeiden oder möglichst kurz und übersichtlich zu erhalten; an Stelle der langen Kraftleitung tritt dann die Axiometerleitung, welche es ermöglicht, die hinten aufgestellte Rudermaschine von der Kommandobrücke aus direkt zu steuern. Im allgemeinen wird von der Rudermaschine verlangt, daß sie bei voller Fahrt in 30—40 Sekunden das Ruder von Hartbord zu Hartbord, also ungefähr 60—80 °, legen kann; dazu sind bei großen und schnellen Schiffen Leistungen der Rudermaschinen von mehreren hundert Pferdestärken notwendig. Für solche Maschinen gibt es eine Reihe von Spezialfirmen, früher hauptsächlich englische. Seit einigen Jahren aber hat sich Deutschland auch hierin vom Ausland freigemacht und unter Mitwirkung des hochverdienten Generaldirektors des Norddeutschen Lloyd Wiegand in der Norddeutschen Armaturenfabrik (neuerdings „Atlaswerke") in Bremen eine Anlage geschaffen, die nach Umfang und Güte allen Ansprüchen genügt. Da trotz aller Sorgfalt in Bau und Bedienung bei den wechselnden, plötzlichen und unberechenbaren Stößen Havarien der Rudermaschine und der Übertragungen bei schwerem Wetter vorkommen, und gerade dann das Ruder unentbehrlich ist, so haben alle Schiffe mindestens einen Reservesteuerapparat, die kleinen und mittleren für Handbetrieb, die größeren und schnellen für Dampfbetrieb.

Abbildung 40. Fluß-Heckraddampfer „Helena Montoya". Beschränkte Einrichtung für Passagiere I. Klasse. Derartige Dampfer finden auf den seichten Gewässern der tropischen Kolonien allgemeine Anwendung. Die Kessel werden fast immer mit Holz geheizt. Ladefähigkeit 400 t, ind. P.S. = 500. Gebaut bei J. Frerichs A.-G., Osterholz-Scharmbeck.

Abbildung 41. Anker und Kettenteil des Riesendampfers „Olympic" (Schiffsabmessungen s. Abbildung 67).

Anker. Einen ebenso wichtigen Ausrüstungsteil wie hinten die Steueranlagen bildet vorn die Ankereinrichtung; auch sie muß bei schwerstem Sturm genügen können, um die größten Schiffe vor dem Hafen, im Nebel oder bei Havarien an der Küste zu halten. Auf riesige Abmessungen ist man hierbei gekommen (Abbildung 41), Anker von Zimmerhöhe, Kettenglieder von Schenkeldicke (bis 100 mm Gliedstärke), und trotzdem sehen diese an sich mächtigen Teile winzig aus im Verhältnis zu den riesigen Schiffen, die sie halten sollen; nur sorgfältigste Bedienung vermeidet einen Kettenbruch, der unweigerlich eintritt, wenn bei festem Anker das fahrende Schiff an zu kurzer Kette ruckt. Auch für die Ankereinrichtung sind besondere Dampfmaschinen vorhanden.

Pumpen- und Signal-Anlagen. Zum Schiffsbetrieb gehören die Rohrleitungen und Pumpen für Waschen der Decks und Lenzen der Bilgen, für Trinkwasser und

Ballastwasser, ferner die Signalanlage, die mit Lichtern, Flaggen, Unterwasserglocken und Funkenspruch bedient wird; diese umfangreichen, wichtigen und interessanten Betriebsanlagen können jedoch nicht eingehend behandelt werden.

Sicherheitsanlagen. Das ganze Schiff ist in Konstruktion, Bau, Ausrüstung, Betrieb und Führung darauf angelegt, die Gefahren der Seefahrt zu vermeiden. Trotz aller Sorgfalt aber kann das Schiff in Lagen kommen, wo es noch besonderer Sicherheitseinrichtungen bedarf; Not kann im Schiff selbst entstehen durch Maschinenhavarie, die nicht mit Bordmitteln zu reparieren ist, durch Kesselexplosion, Feuer im Maschinenraum und Laderaum oder in den Passagierräumen. Gegen Feuer schützt zunächst die Unterteilung des Schiffes durch Schotten, die das Brandgebiet abgrenzen wie Brandmauern in Häusern. Zum Feuerlöschen dient eine weitverzweigte Rohrleitung, auf Passagierschiffen mit Schlauchanschlüssen in allen Gängen, ferner sind viele Schiffe mit Rohrleitungen versehen, um bei Feuer im Laderaum dort Dampf oder feuerlöschende Gase (schweflige Säure oder Kohlensäure) einzulassen. Kohlenschiffe auf langer Fahrt, auf denen sich die Kohle im Raum zuweilen selbst entzündet, sind mit Einrichtungen (Thermometerrohre) zur Kontrolle der Temperatur versehen; auch große Passagierdampfer haben ähnliche Einrichtungen für die Kohlenbunker.

Noch größer als durch Feuer kann die Not werden durch Gefahren von außen, bei Strandungen infolge von Navigationsirrtümern, besonders bei Nebel; das schlimmste aber sind Kollisionen mit anderen Schiffen oder mit Eisbergen; auf alle diese Fälle muß Bau und Ausrüstung nach Möglichkeit Rücksicht nehmen. Die erste Sorge ist, das Schiff auch bei schweren Havarien schwimmend zu erhalten. Ein großes Loch unter Wasser, bei Schraubenbruch, Explosion, Grundberührung und Kollision ist auf See, wenn überhaupt, jedenfalls nicht schnell wieder dicht zu machen; es wird stets der lecke Raum des Schiffes vollaufen. Dies wird um so ungefährlicher, je kleiner dieser Raum ist; man ist daher im Schiffbau bestrebt, das Schiff durch feste Längs- und Querwände („Schotte") in so viele kleine Räume zu teilen, wie es ein sicherer und wirtschaftlicher Betrieb des Schiffes gestattet; besonders kleine Räume werden da geschaffen, wo am ehesten große Havarien zu erwarten sind, vorn gegen Kollisionen, hinten gegen Wellenbruch und unten gegen Grundberührung. Da diese drei Teile auch für die Zwecke des Schiffes weniger wertvoll sind, so haben alle Seeschiffe je ein Schott vorn und hinten und weitaus die meisten einen Doppelboden. Schon oft haben Schiffe nach großem Leck im Boden, auf dem inneren Boden schwimmend, oder mit

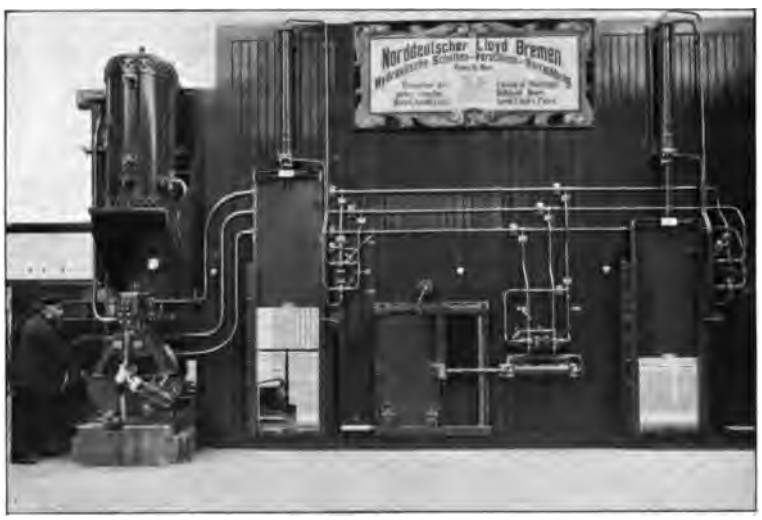


Abbildung 42. Hydraulische Schottschließvorrichtung; Schema der auf allen neuen großen Passagierdampfern vorhandenen Einrichtung, die es ermöglicht, von der Kommandobrücke aus durch einen Handgriff alle etwa offenstehenden wasserdichten Türen in den Schotten zu schließen (die Anlage steht in der ständigen Ausstellung für Arbeiterwohlfahrt in Charlottenburg).

eingedrücktem Bug ihre Reise tagelang fortgeführt. Die weitestgehende Unterteilung der übrigen Räume haben die Kriegsschiffe, um nicht nur bei den Gefahren der Seefahrt, sondern auch bei Schüssen in der Wasserlinie, bei inneren Explosionen und bei Torpedo- und Minenbeschädigungen schwimmfähig zu bleiben; diese Unterteilung ist bei der außerordentlich vielseitigen Benutzung der Unterräume für Maschinen, Hilfsmaschinen, Kessel, Kohlen, Munition und Proviant und bei der großen Besatzung ohne allzu große Störungen des Betriebes durchzuführen. Schwieriger wird dies schon bei großen Handelsschiffen, wo die Ladung große Räume erfordert, und bei dem auf das notwendigste beschränkten Personal Betrieb und Aufsicht der Maschinenanlage sehr erschwert werden würde, wenn zuviel Trennungsschotte bis zum oberst durchlaufenden Deck geführt würden.

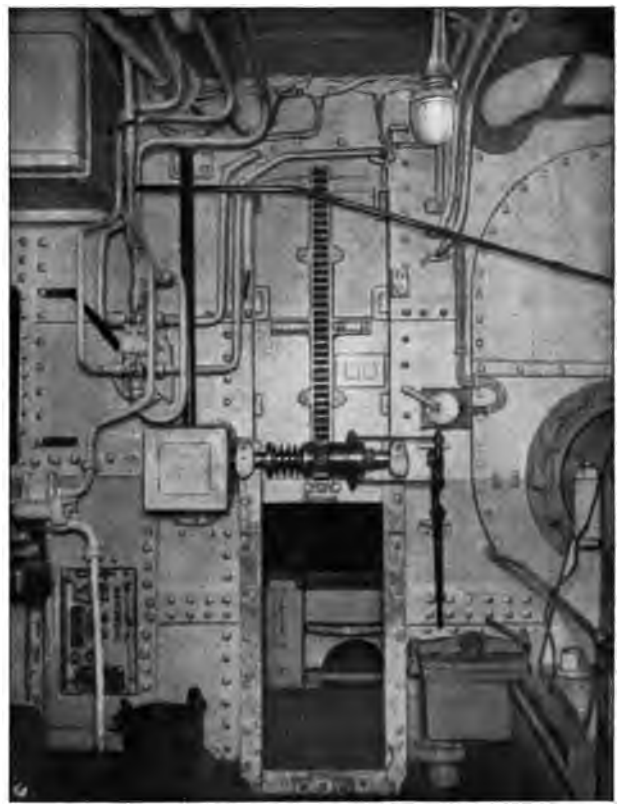


Abbildung 43. Hydraulische Schottschließvorrichtung: Wasserdichte Tür im Maschinenraum. Die Einrichtung ist ausgeführt von den Atlaswerken A.-G. in Bremen und Hamburg.

Trotz dieser großen Nachteile der Schotte sind Passagierdampfer heute so weit untergeteilt, daß bei Havarien ein, zwei oder mehr große Räume bis obenhin vollaufen können, ohne die Schwimmfähigkeit des Schiffs zu gefährden; diese Unterteilung wird in Deutschland gefordert durch die Unfallverhütungsvorschriften der Seeberufsgenossenschaft. Noch nicht allzulange ist diese Art der Sicherheit in die Personenschiffahrt eingeführt. Erst im Jahre 1890 sind in England auf Veranlassung des Board of Trade die Fragen der Schotteinteilung durch das Bulkhead-Committee eingehend untersucht worden, dessen 1891 erschienener Bericht die Grundlage für alle Untersuchungen auf diesem Gebiet gebildet hat. In Deutschland hat erst, wie bei so mancher technischen Neuerung, ein großes Unglück kommen müssen, um auf die Gefahren eindringlich aufmerksam zu machen und Mittel zur Vermeidung zu ersinnen. Erst im Anschluß an den Untergang des Schnelldampfers „Elbe", der am 30. Januar 1895 im Kanal von einem leichtfertig geführten kleinen englischen Kohlendampfer gerammt wurde und mit mehreren hundert Passagieren in wenigen Minuten versank, hat die Frage der Anordnung und des Baues der Schotte in Fluß gebracht. Der verstorbene hochverdiente Direktor des Germanischen Lloyd, Middendorf, hat dann im Anschluß an die erwähnten Untersuchungen des Bulkhead-Committee eine Methode ausgedacht, durch die die Schwimmverhältnisse eines lecken Schiffes in einfacher Weise berechnet werden können. Auf Grund dieser Methode sind dann die Höchstabstände der Schotte für Personendampfer bei den verschiedenen Bedingungen in den Schottvorschriften der Seeberufsgenossenschaft festgelegt

Abbildung 44. Hydraulische Schottschließvorrichtung auf der Kommandobrücke, durch deren Betätigung alle offenstehenden wasserdichten Türen sofort geschlossen werden.

worden, ferner sind durch Rechnung und sorgfältige Versuche an gebauten Schotten die für den hohen Wasserdruck notwendigen Verstärkungen ermittelt und gleichfalls in die Form von Vorschriften gebracht worden.

Der Betrieb des Schiffes verlangt aber für den Verkehr mit den einzelnen Abteilungen Türen in den Schotten unter der Wasserlinie für das Maschinenpersonal, über Wasser für die Passagiere und ihre Bedienung. Um diese nun im Falle plötzlicher Gefahr, z. B. bei Havarien, schnell schließen zu können, auch wenn schon Wasser in die Räume eingedrungen ist, sind alle diese Türen unter der Wasserlinie als hydraulische Schiebertüren ausgebildet, die von der Kommandobrücke aus in kürzester Zeit mit einem Handgriff geschlossen werden können (Abbildung 42, 43 und 44). Eine Signalvorrichtung zeigt auf der Kommandobrücke jederzeit an, welche Türen im Raum offenstehen; ein langes Glockensignal an jeder Tür ruft die etwa in dem Raum (Kohlenbunker, Wellentunnel) beschäftigten Menschen rechtzeitig heraus, ehe die Tür geschlossen werden kann. Häufige Erprobungen sichern die Gebrauchsfähigkeit dieser umfangreichen maschinellen Einrichtung.

Boote. Trotz aller Vorsichtsmaßregeln kann es vorkommen, daß ein brennendes oder sinkendes Schiff von Besatzung und Passagieren verlassen werden muß. Diesem äußersten Notfall, der glücklicherweise nur sehr selten vorkommt, dienen die Boote. Jedes kleine oder mittlere Schiff muß mit so viel Booten versehen sein, daß jeder Mann der Besatzung und jeder Passagier darin untergebracht werden kann. Schiffe, die den erwähnten Schottvorschriften genügen, brauchen zwar nicht die volle Anzahl der Boote zu führen, trotzdem ergeben sich für große Schiffe bis zu 30 Boote, eine große Belastung an Gewicht und Kosten, eine recht störende Besetzung wertvollen Deckraums; die Länge der Schiffe reicht gar nicht mehr, um alle Boote so aufzustellen, daß sie direkt zu Wasser gelassen werden können; neben- und übereinander müssen sie stehen. Für die Aufstellung der Boote wird auf den großen Personendampfern fast immer das oberste Deck gewählt, weil sich dort die Einrichtungen am ehesten unterbringen lassen. Für kleinere Schiffe ist das auch für die Fälle der Gefahr der beste Platz, weil das oberste Deck bei sinkendem Schiff am längsten so weit über Wasser bleibt, daß die Boote ordnungsmäßig besetzt und zu Wasser gelassen werden können. Für die ganz großen Schiffe aber ist das oberste Deck für den Notfall keineswegs das beste. Die Mehrzahl der Passagiere und Besatzung wohnt mehrere Decks tiefer; sie werden bei schwerem Wetter

Abbildung 45. Boote in Drehdavits in gewöhnlicher Aufhängung auf einem großen Personendampfer. Zum Ausschwingen sind selbst bei ruhiger See und aufrechtliegendem Schiff 10—12 Mann erforderlich.

und bei Nacht, wo die meisten Havarien passieren, kaum den Weg zu den Booten finden; und wenn sie ihn wirklich gefunden haben, wird es außerordentlich schwer sein, von der Höhe des Bootsdecks, das bei den großen Personendampfern etwa so hoch über Wasser liegt wie das Dach eines vierstöckigen Hauses, die Boote bei schiefliegendem, schwankendem Schiff in Sturm und Nacht sicher zu Wasser zu bringen.

Abbildung 46. Boote in Welins Quadrant-Klappdavits: Zum Ausschwingen sind nur zwei Mann erforderlich.

Die Frage der Bootsaufstellung in der Höhe und Art, ferner die Vorrichtungen zum Zuwasserlassen sind seit Jahrzehnten ein Feld für Vorschläge und Erfindungen, von denen aber nur die wenigsten ernsthaft zu nehmen sind, und davon nur einzelne sich im praktischen Betrieb bewährt haben. Neben der Aufhängung der Boote in Drehdavits, die noch heute von vielen Kapitänen allein für brauchbar gehalten wird, obgleich sie sehr umständlich ist und viel Personal erfordert (Abbildung 45), sind in den letzten Jahren die Klappdavits nach Welins Patent (Abbildung 46 und 47) auf sehr viel Personendampfern eingeführt worden; einige Reedereien, u. a. der Norddeutsche Lloyd, haben seit Jahren all ihre Schiffe damit versehen. Sie haben den Vorzug, daß sie stets fertig zum Gebrauch und mit einfachem Kurbeltrieb durch zwei Mann zu bedienen sind; sie gestatten auch, Boote nebeneinander (Abbildung 48) und übereinander anzuordnen, die dann mit denselben Klappdavits nacheinan-

Abbildung 47. Bootsdeck des großen Fracht- und Passagierdampfers „Cleveland" der Hamburg-Amerika-Linie mit den Booten unter Welins Quadrant-Klappdavits.

der zu Wasser gelassen werden können. Die Bedienung erfolgt zwangläufig durch Kurbel, so daß der Davit in jeder Lage stehen kann, während das Ausschwingen der Drehdavits sehr geschicktes Zusammenarbeiten von eingeübter Mannschaft erfordert und schon bei ruhigem Wetter und aufrechtem Schiff oft Schwierigkeiten macht (siehe Abbildung 45).

Aber auch bei den Klappdavits bleibt noch ein schwerer Übelstand, daß das Boot in zwei voneinander unabhängigen Bootstaljen hängt, die gleichmäßig mit Hand gefiert werden müssen, wenn das Boot richtig zu Wasser kommen soll. Immer wieder kommen hierbei selbst bei normalem Betrieb Unglücksfälle vor durch Ungeschicklichkeit, und man ist bestrebt, auch diesen großen Übelstand durch praktisch brauchbare Änderungen zu beseitigen.

Auf Passagierdampfern werden häufig Bootsmanöver unternommen, um die Besatzung zu üben und den Passagieren das Gefühl der Sicherheit zu geben, dann klappt wohl alles gut bei gutem Wetter und aufrechtem Schiff, ohne die Aufregung der Gefahr. Wie das aber bei einer Kollision in schlechtem Wetter bei Nacht werden soll, darüber denken glücklicherweise die wenigsten nach. Dem Fachmann bilden die Rettungsboote auf diesen größten Schiffen nur ein Beruhigungsmittel für die Passagiere, viel größere Sicherheit liegt in dem Bau, der Ausrüstung, dem Betrieb und der Führung des Schiffes. Wenn das alles versagt oder durch ungeschickt geführte andere Schiffe gestört wird, so werden die Boote auch nicht mehr viel nutzen. In dieser Erwägung wäre es sehr zu wünschen, wenn die überflüssige Belastung der größten Passagierschiffe durch die bisher noch vorgeschriebene Anzahl von Booten zum Teil fortfallen könnte, wenn andere wirksamere Sicherheitsmaßregeln auf dem Schiffe vorhanden sind. Vorsichtige Navigierung, Unterwasserschallsignale und drahtlose Telegraphie auf allen Schiffen eingeführt, geben viel größere Sicherheit vor Kollision und Strandungen bei Nebel, als Rettungsboote nach dem Unfall.

Die vorstehenden Erwägungen waren geschrieben, bevor die entsetzliche Katastrophe der „Titanic" am 15. April 1912 sich ereignete, der über 1500 Menschen zum Opfer fielen, und es ist zu überlegen, nach welcher Richtung hin dieser seit Jahrhunderten größte Seeunfall Veranlassung gibt, die Maßregeln zur Unfallverhütung großer Personenschiffe einer Nachprüfung zu unterziehen. Der White-Star-Line ist der schwere Vorwurf gemacht worden, daß nicht genügend Rettungsboote an Bord gewesen seien, und es muß zugegeben werden, daß im vorliegenden Falle durch eine größere Zahl von Rettungsbooten mehr Menschen hätten gerettet werden können. Trotzdem wäre es durchaus verkehrt, aus diesem Anlaß in der Vermehrung der Rettungsboote das wichtigste Hilfsmittel gegen eine Wiederholung derartiger Katastrophen zu erblicken. Zunächst ist zu bedenken, daß bei der „Titanic" ruhiges Wetter gewesen ist, so daß die Boote größtenteils sicher zu Wasser gelassen wurden und abwarten konnten, bis zu Hilfe eilende Dampfer sie aufnahmen.

Rettungseinrichtungen dürfen aber nicht auf einen besonderen Fall zugeschnitten werden, sie sollen nach Möglichkeit für alle Fälle passen. Bei einer Kollision mit einem anderen Schiff wird das havarierte Schiff schräg liegen und das Zuwasserlassen der Boote nur auf einer Seite möglich; ferner denke man sich offene Boote in stürmischer See, nur mit Rudern ausgerüstet, mehrere Tage treibend, und man wird erkennen, daß in den Booten nicht aller Weisheit letzter Schluß liegen kann. Selbst wenn es möglich wäre, auf den großen Schiffen so viel Boote mitzuführen, daß für alle denkbaren Fälle genügend Bootsraum für sämtliche an Bord befindliche Personen zur Verfügung steht, so kann unmöglich genügend Mannschaft an Bord geführt werden,

um sie sicher zu Wasser zu lassen und zu bemannen. Viel wichtiger ist es daher, darüber nachzudenken, wie Zusammenstöße verhütet werden können und wie nach dem Zusammenstoß das Schiff unsinkbar gemacht werden kann. Nach diesen beiden Richtungen wird der Unfall der „Titanic" sicher befruchtend wirken. Dazu gehören Verbesserungen im Bau und in der Führung der Schiffe; Technik und Navigation müssen in gleicher Weise aus der Katastrophe lernen. Um nur einige Punkte zu streifen, wird folgendes zu überlegen sein:

Abbilldung 48. Aufstellung von Booten nebeneinander unter Welins Doppel-Quadrantdavits, die es ermöglichen, auch das zweite Boot direkt aufzunehmen, während bei den gewöhnlichen Drehdavits das zweite Boot erst unter die Davits geschoben werden muß.

1. Verbesserung der Fühleranlage im Nebel, wenn Auge und Ohr versagen, z. B. meteorologische Beobachtungen in Gegenden, wo Eisgefahr auftreten kann; Verschärfung der Vorschrift über langsames Fahren bei Nebel; Scheinwerfer.

2. Die Einführung der drahtlosen Telegraphie auf allen Ozeanschiffen.

3. Noch weitergehende Unterteilung der Personenschiffe in wasserdichte Räume.

4. Anlage einer besonderen Zentralstation mit Motorbetrieb in einem hochgelegenen Deck, um selbst bei überfluteten Kesselräumen elektrischen Strom für die Pumpen, für Beleuchtung und drahtlose Telegraphie zur sicheren Verfügung zu haben.

5. Aufstellung großer elektrisch betriebener Kreiselpumpen unabhängig voneinander in jedem großen Raum.

Wenn alles das durchgeführt ist, wird man immer mehr auf die Mitführung einer großen Anzahl von Booten verzichten können und trotzdem Katastrophen wie die der „Titanic" vermeiden.

2. ENTWURF EINES SCHIFFES

RECHNUNGEN UND VERSUCHE. Gewicht. Bei aller Verschiedenheit der Typen ist der erste grundlegende Gedankengang für alle Schiffe der gleiche, sei es Flußkahn oder Panzerschiff, sei es Segelschiff oder Luxusdampfer; immer muß die mathematische Gleichung erfüllt werden, daß das Gewicht des Schiffes mit seiner Beladung (an Fracht, Menschen, Geschützen, Kohlen, Proviant) gleich ist der von dem Schiff verdrängten Wassermenge („Wasserverdrängung", „Deplacement", das nach Gewichtstonnen zu 1000 kg oder tons engl. zu 2240 lbs = 1016 kg gerechnet wird und nicht zu verwechseln ist mit der Registertonne, die ein Raummaß von 100 Kubikfuß = 2,83 Kubikmeter bedeutet!).

Beide Seiten der Gleichung müssen berechnet werden. Das Deplacement ist genau zu bestimmen, wenn die Hauptabmessungen (Länge, Breite und Tiefgang) festgelegt sind und die Unterwasserform innerhalb dieser Hauptabmessungen durchkonstruiert ist. Da letzteres für das Stadium des Entwurfs zuviel Arbeit macht, und bei späteren Änderungen der gewählten Hauptabmessungen von neuem geschehen müßte, so begnügt man sich für die ersten Überschlagsrechnungen in den meisten Fällen mit der Wahl eines „Völligkeitskoeffizienten", der das Verhältnis der Wasserverdrängung zu dem von Länge, Breite und Tiefgang gebildeten Parallelepipedon ausdrückt. Mit dem Koeffizienten, der nach der Art des Schiffes von dem Konstrukteur zweckmäßig zu wählen ist, ist die Verdrängung schnell und leicht aus den Hauptabmessungen zu berechnen. Diese aber sind wieder von großem Einfluß auf das Gewicht des Schiffes, also auch auf die andere Seite der Gleichung. Für einen einfachen Frachtdampfer ist wenigstens die Ladung des Schiffes fest gefordert, so daß nur Eigengewicht und Verdrängung berechnet werden müssen; oft aber wechselt auch die Ladung noch mit den anders gewählten Abmessungen, z. B. bei Kriegsschiffen die Panzerung, und zu all dem kommt hinzu, daß auch das Gewicht der Maschinenanlage abhängig ist von den nicht bekannten Hauptabmessungen, resp. dem unbekannten Gewicht des Schiffes. In solchen Fällen, und das ist die Regel bei etwas ungewöhnlichen Entwürfen, steht der Konstrukteur vor einer Gleichung mit fast nur Unbekanntem. Als einziges Hilfsmittel bleiben ihm da die auch sonst in der Technik viel gebrauchten, im Schiffbau aber unentbehrlichen Koeffizienten, das sind Vergleichszahlen, die aus der Erfahrung oft mit großer Mühe entnommen werden müssen, wie z. B. das Gewicht des Schiffskörpers bezogen auf 1 cbm des äußeren Umfanges des Schiffes (berechnet als Produkt aus Länge, Breite und Seitenhöhe) und das Gewicht der Maschinenanlage bezogen auf eine indizierte Pferdestärke.

Leider sind die im Schiffbau üblichen Koeffizienten je nach den Umständen sehr verschieden, das Gewicht des Schiffskörpers z. B. kann für einen Frachtdampfer bis 200 kg pro cbm und das Gewicht der zugehörigen Maschinen 250 kg pro ind. P.S. betragen, während der Schiffskörper eines Torpedobootes nur etwa 100 kg/cbm und seine Maschinenanlage nur etwa 25 kg/ind. P.S. wiegen. Zwischen diesen Extremen muß der Konstrukteur nach Spezialerfahrung zweckentsprechend wählen.

Jede Werft, wenigstens jede richtig arbeitende, hat seit Jahren und Jahrzehnten mit großer Sorgfalt von allen ihren Bauten die Erfahrungsdaten gesammelt und in eine für Entwürfe brauchbare Form gebracht. Diese Koeffizienten schwanken für ähnliche Schiffe in wesentlich engeren Grenzen. Trotz aller Sorgfalt aber ist und bleibt die Vorherberechnung des Eigengewichts eines Schiffes eine unsichere Sache; Fehler sind nicht selten und führen nicht nur bei Kriegsschiffen und erstklassigen Passagierdampfern, sondern sogar bei einfachen Frachtdampfern zuweilen zu Abnahmeschwierigkeiten und Prozessen.

Trimlage. Dabei ist das Gesamtgewicht nicht das einzige, was vorher berechnet werden muß; von gleicher Bedeutung ist die Verteilung der Gewichte nach der Länge und nach der Höhe, die Stabilität, Festigkeit und Geschwindigkeit des Schiffes, ferner die Größe und Verteilung der Räume für Ladung, Kohlen, Proviant, Geschütze, Mannschaft und Passagiere. Die Verteilung der Gewichte nach der Länge beeinflußt die Lage des Schiffes längsschiffs (sog. „Trimlage"). Im allgemeinen wird, besonders bei großen Schiffen, wo der Tiefgang durch Häfen oder Schleusen beschränkt ist, eine Lage auf ebenem Kiel der Konstruktion zugrunde gelegt. Das erfordert eine Verteilung des Schiffsgewichts und aller übrigen Teile (Anker, Boote, Masten, Maschine,

Kessel, Kohlen und Ladung), so daß ihr gemeinsamer Schwerpunkt genau über dem Schwerpunkt der Verdrängung bei ebenem Kiel liegt, also eine umständliche Momentenberechnung; in vielen Fällen, besonders bei Frachtschiffen, wird die Rechnung dadurch etwas vereinfacht, daß dem Kapitän die Möglichkeit gelassen wird, durch verschiedene Stauung der Ladung die gewünschten Trimlagen zu erreichen; aber auch hier ist es zum mindesten erwünscht, dafür zu sorgen, daß durch den Verbrauch von Kohlen, Wasser und Proviant während der Reise keine großen Änderungen der Trimlage verursacht werden.

Eine Steuerlastigkeit, d. h. eine Lage des Schiffes mit einem hinten, am Steuer, größeren Tiefgang als vorn, ergibt meist eine bessere Steuerung des Schiffes und wird daher, wenn der Tiefgang es erlaubt, von den Kapitänen bevorzugt. Diese Lage ist einfacher als durch Umstauen von Gütern durch Füllen oder Leeren von Teilen des Doppelbodens zu erzielen. Ein Tiefgang vorn größer als hinten ist für große Schiffe ein Fehler und vom Konstrukteur für normale Ladung zu vermeiden, eine solche Lage kommt nur vor bei extrem gebauten Segeljachten oder Motorbooten.

Stabilität. Weit unangenehmer aber als Fehler in der Gewichtsverteilung längsschiffs, die sich verhältnismäßig leicht durch Wasserballast oder andere Gewichtsverschiebungen ausgleichen lassen, sind Fehler in der Verteilung der Gewichte nach der Höhe, denn diese beeinflussen immer die für die Seetüchtigkeit wichtigste Eigenschaft, die Stabilität. Wenn die Seetüchtigkeit um so größer würde, je größer die Stabilität ist, so wäre die Sache erträglich, aber auch hier steht der Schiffbauer wieder, wie so oft, zwischen Scylla und Charybdis; besonders für Passagierdampfer ist eine zu große Stabilität durchaus zu vermeiden, weil sie sehr harte, häufige und unangenehme Rollbewegungen in seitlicher Dünung zur Folge hat; diese Schiffe streben nach möglichst geringer Stabilität und gehen darin so weit, daß sie leer ohne Wasserballast nicht aufrechtstehen können. Für Kriegsschiffe und Frachtdampfer dagegen muß mit Verlusten von Stabilität durch Havarien oder Decksladung gerechnet werden, daher müssen sie in normalem Zustand ein Übermaß von Stabilität besitzen. Segler wieder, besonders Rennjachten, sollen auch bei steifem Wind nicht zuviel überliegen, sie erhalten noch größere Stabilität, bis zur Unkenterbarkeit.

Einfluß auf die Stabilität hat bei gewählten Abmessungen die Verteilung der Gewichte nach der Höhe; Beladung unten im Schiff erhöht die Stabilität (Wasserballast im Doppelboden, Bleikiele der Rennjachten), Belastung oben verringert dieselbe (Wasserballast in Tanks an Deck bei Erzdampfern oder Frachtdampfern ohne Ladung bei gefülltem Doppelboden). Der Einfluß solcher Gewichtsverschiebung ist vorher berechenbar, wenn der Schwerpunkt des ganzen Schiffes bekannt ist; da aber schon das Gewicht sehr schwer genau zu berechnen ist, so wird der Schwerpunkt noch schwerer genau zu bestimmen; auch hier brauchen wir wieder die Erfahrung mit ihren Koeffizienten. Mit Hilfe des sogenannten Krängungversuchs wird von fertigen Schiffen der Schwerpunkt bestimmt und danach für Entwürfe unter Berücksichtigung der veränderten Gewichtsverteilung annähernd berechnet. Selten kann die durch solche Rechnungen ermittelte Stabilität eines Entwurfs durch konstruktive Gewichtsverschiebungen und Zusätze oben oder unten verbessert werden. Es bleibt dann, wenn die Rechnung eine unbrauchbare Schwerpunktslage ergibt, nichts anderes übrig, als die Hauptabmessungen zu ändern. Eine Änderung der Höhe hat zwar eine Verschiebung des Schwerpunkts zur Folge und somit einen wesentlichen Einfluß auf die Stabilität, eine solche Änderung ist aber oft gar nicht oder nur in sehr geringem Umfange mit Rück-

sicht auf die Raumverteilung des Schiffes möglich. Am wirksamsten ist eine Änderung der angenommenen Breite, die auf die Stabilität den größten Einfluß hat; das bedarf einer Erklärung über den rechnerischen Begriff der Stabilität.

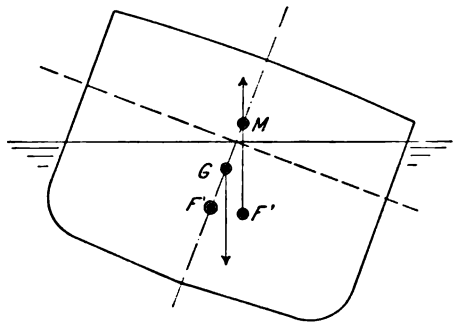


Abbildung 49. Stabilität. F — Schwerpunkt des Deplacements bei aufrechtem Schiff. F' — Schwerpunkt des Deplacements bei geneigtem Schiff. G — Schwerpunkt des Schiffskörpers. M — Metazentrum. GM — metazentrische Höhe.

Das Maß hierfür ist die metazentrische Höhe, das heißt die Höhe des Metazentrums (als Drehpunkt bei den seitlichen Schlingerschwingungen) über dem Gewichtsschwerpunkt. Rein geometrisch wird das Metazentrum auch bezeichnet als Schnittpunkt der durch den Auftriebsschwerpunkt gehenden Vertikalen mit der Mittellinie bei kleinen Neigungen des Schiffes (Abbildung 49). Liegt dieses Metazentrum über dem Gewichtsschwerpunkt des Schiffes, so ist das Schiff stabil, da die Kräftewirkung bei seitlicher Neigung durch äußere Kräfte (Wind, Seegang) das Schiff wieder aufrichtet. Die Größe des Abstandes MG beträgt z. B. für große Segelschiffe etwa 1 m, für große Passagierdampfer nur wenige Dezimeter. Direkt berechenbar ist die Höhe des Metazentrums über dem Schwerpunkt der Verdrängung (MF), sie ist $= \frac{\text{Trägheitsmoment der Wasserlinie}}{\text{Deplacement.}}$

Das Trägheitsmoment ist aber proportional der dritten Potenz der Schiffsbreite. Unter sonst gleichen Umständen ergibt sich hieraus die Möglichkeit, bei einem Entwurf die durch eine Kontrollrechnung gefundene unbrauchbare Stabilität durch geringe Änderungen der Breite zu verbessern. Wird z. B. ein Schiff von 200 m Länge von 25000 t Deplacement zunächst mit 20 m Breite der Wasserlinie entworfen und ergibt sich daraus eine ungenügende Stabilität (z. B. 20 cm), so wird eine um 20 cm = 1 % größere Breite die Höhe des Metazentrums über dem Verdrängungsschwerpunkt und ebenso über dem Gewichtsschwerpunkt um rund 10 cm vergrößern, also die Stabilität um 50 % verbessern! Die Höhe des Metazentrums

Abbildung 50. Gedächtnistafel in der St. Pauls Kathedrale zu London für die Offiziere des englischen Kriegsschiffes „Captain". Das Schiff kenterte infolge ungenügender Stabilität am 7. September 1870 bei Kap Finisterre und sank in wenigen Sekunden mit der gesamten Besatzung (49 Offiziere, 433 Mann). Der zweite Offizier der Liste, Kapitän C. P. Coles, ist der Konstrukteur des Schiffes. Eine ebensolche gegenüber aufgestellte Tafel enthält die Namen der Mannschaft.

gibt nur ein Maß für die sogenannte „Anfangsstabilität"; von entscheidender Bedeutung ist aber neben dem Anfangszustand der Umfang der Stabilität, d. h. die Untersuchung darüber, bis zu welcher Neigung querschiffs das Metazentrum, dessen Lage sich bei der Neigung verschiebt, noch über dem Gewichtsschwerpunkt liegt.

Abbildung 51. Schleppversuchsanstalt für Schiffsmodelle. Um die zur Erreichung einer bestimmten Geschwindigkeit günstigste Schiffsform zu finden und die zur Fortbewegung nötige Maschinenstärke festzustellen, wird das genaue Modell des zu bauenden Schiffes in einem langen schmalen Bassin geschleppt und dessen Widerstand im Wasser durch selbstregistrierende Apparate gemessen. Das Modell wird aus Paraffin durch einen Präzisionsapparat hergestellt.

Der Umfang der Stabilität ist wesentlich abhängig von der Höhe des obersten durchlaufenden Decks über Wasser, d. h. von dem „Freibord". Die Bedeutung des Freibords wird am besten klar aus der Abbildung 50, die das Denkmal von einem der schwersten Unfälle aus ungenügendem Umfang der Stabilität infolge zu geringen Freibords darstellt. Ebenso sind viele Unfälle und Totalverluste in der Handelsschiffahrt auf Fehler in der Stabilität in Verbindung mit ungenügendem Freibord zurückzuführen, und aus diesen Ursachen sind die heute nahezu international gewordenen Vorschriften über den Mindestfreibord der Frachtschiffe entstanden.

Außer der Stabilität muß besonders für Kriegsschiffe und Feuerschiffe, die auch bei schlechtem Wetter möglichst ruhige Bewegungen haben sollen, noch die Schwingungsperiode berechnet werden, das erfordert eine Bestimmung des Trägheitsmoments der Massen bezogen auf die Längsachse des Schiffes. Diese umständlichste aller Schiffbaurechnungen setzt eigentlich einen fertigen Entwurf voraus, da die Einzelgewichte und ihr Abstand von der Achse, also ihre Lage im Schiff, berücksichtigt werden müssen. Auch hier wird man sich für Projekte auf

Abbildung 52. Schleppversuchsanstalt: über dem Bassin läuft der elektrisch betriebene Wagen, unter dem das Modell in der richtigen Schwimmlage geschleppt wird (Versuchsanstalt in Washington).

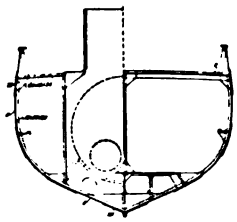


Abbildung 53. Querschnitt eines Fischdampfers (Abmessungen s. Abbild. 29); links: Schnitt durch den Kesselraum, rechts: Schnitt durch den Kohlenbunker (Maße in Millimeter).

die Resultate von Schwingungsversuchen stützen und in den Anfangsstadien des Entwurfs mit Koeffizienten arbeiten müssen.

Festigkeit. Das Schiff soll nicht nur richtig schwimmen, sich fortbewegen, stabil und doch wieder ohne lästige Bewegungen sein, sondern es soll auch allen äußeren Kräften Widerstand leisten, es soll eine schwimmende Brücke sein für alle seine Teile und seine Ladung. Der Brückenbauer kennt die höchste Belastung seiner Brücke, er weiß genau, wo und wie dieselbe gelagert ist, und daraus kann er die höchste Beanspruchung aller Teile und ihren Querschnitt berechnen. Leider sind die auf ein Schiff im Seegang wirkenden Kräfte nicht in dieser Weise zu berechnen. Außerdem soll das Schiff nicht nur eine Brücke, sondern auch überall wasserdicht sein, das macht die Festsetzung der Materialstärken aus den Kräften und der zulässigen Beanspruchung unmöglich. Auch hier hilft wieder die jahrzehntelange Erfahrung, die in den Bauvorschriften der Klassifikationsgesellschaften niedergelegt worden ist, oder die Spezialerfahrungen bei den Kriegsmarinen.

Man versucht zwar auch im Schiffbau die Materialstärken durch eine Festigkeitsberechnung zu ermitteln, indem man mangels Kenntnis der wirklich auftretenden Kräfte Annahmen macht, z. B. daß das Schiff auf einer Meereswelle so lang wie das Schiff und so hoch wie $^1/_{20}$ seiner Länge in Berg oder Tal der Welle ruht, und aus dieser Annahme unter Berücksichtigung des Gewichts und der Beladung des Schiffes die Beanspruchung seiner Verbände berechnet. Hierbei hat sich für die Schiffe „Mauretania" und „Lusitania" die größte Beanspruchung der Verbände zu 16 kg/qmm ergeben. Dieses Ergebnis zeigt, wie unsicher die Annahmen sind, denn wenn solche Belastungen im Ruhezustand tatsächlich auftreten würden, so würden die Schiffe, in schwerem Seegang stampfend mit stetig wechselnder Zug- und Druckbeanspruchung, längst gebrochen sein. Vorläufig kann also die Festigkeitsrechnung nicht die in den Bauvorschriften der Klassifikationsgesellschaften niedergelegten Erfahrungen ersetzen; sie ist gut brauchbar für Flußschiffe und als Vergleichsrechnung mit Koeffizienten.

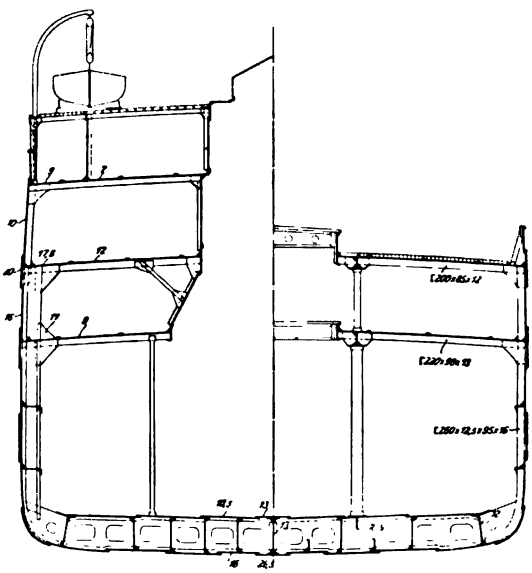


Abbildung 54. Querschnitt eines Überseefrachtdampfers (Abmessungen s. Abbild. 7). Links: Schnitt durch den Kesselraum (Kesselschacht geführt durch Zwischendeck, Hauptdeck, Brückendeck und Bootsdeck); rechts: Schnitt durch den vorderen Laderaum (Luken im Zwischendeck und Hauptdeck). (Maße in Millimeter.)

Alle die erwähnten Rechnungen sind einigermaßen genau erst auszuführen, wenn durchgearbeitete Entwürfe des Schiffes vorliegen. Aber sie sind anderseits wieder notwendig, um erst die Hauptabmessungen des Schiffes festzusetzen. Bedenkt man, daß zu den erwähnten Rechnungen noch die Rechnungen für Widerstand, Freibord und Vermessung hinzukommen, deren Ergebnis auch die Wahl der Hauptabmessungen beeinflußt, so ist es klar, daß das Entwerfen von Schiffen ein allmähliches Hinaufprobieren aus unsicheren Annahmen durch vorläufige Rechnungen nach neuen An-

nahmen, ergänzt durch zeichnerische Raumverteilung, zu genaueren Rechnungen bedeutet. Häufig ergibt sich erst nach wochenlanger Durcharbeitung, daß die gewählten Hauptabmessungen nicht zum Ziele führen, und es muß von vorn angefangen werden. Durch diese Schwierigkeiten erklärt sich aber auch, daß im Schiffbau, allerdings meist nur dem Fachmann bemerkbar, Fehlbauten nicht selten vorkommen.

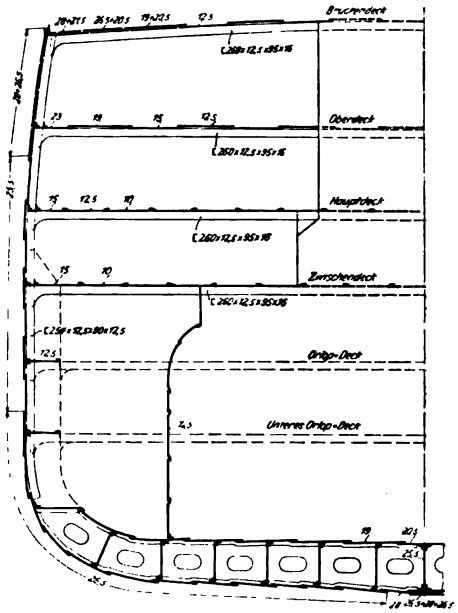


Abbildung 55. Querschnitt durch den Kesselraum des Turbinenschnelldampfers „Lusitania" der Cunard-Line (Abmessungen s. Abbildung 23). (Maße in Millimeter.)

ZIELE DER SCHIFFBAUWISSENSCHAFT. Groß sind zweifellos die bisherigen Erfolge des Schiffbaues; es sind alle Aufgaben, die der Verkehr gestellt hat, gelöst worden. Trotzdem bleibt auch der Zukunft noch genug zu verbessern, und zwar im wesentlichen nach der wirtschaftlichen Seite. Das Bestreben muß sein für gleiche Leistungen noch leichtere, noch billigere, also noch wirtschaftlichere Schiffe zu bauen. Das kann nur geschehen durch sorgfältigste Kleinarbeit an allen Stellen, durch wissenschaftliche Ausbildung unserer Ingenieure. Im einzelnen sind als Aufgaben zu nennen: Untersuchungen des Materials und seiner Verbindungen, Bestimmungen der äußeren Kräfte und ihre Wirkung auf das Schiff als Ganzes und im einzelnen, Bestimmungen der Bewegungsvorgänge im Wasser beim fahrenden und drehenden Schiff.

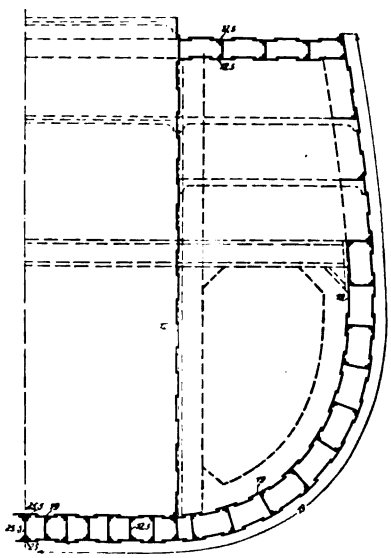


Abbildung 56. Querschnitt vom „Great Eastern" (in den Jahren 1852—1857 erbauter Riesendampfer). L = 207,4 m, B = 25,3 m, H = 17,69 m, Reg.To = 18913. (Maße der Verbände in Millimeter.)

Von diesen Problemen wissen wir so viel, daß wir im allgemeinen etwas Zuverlässiges bauen können, ohne jedoch vor Unfällen aus Unkenntnis der inneren Vorgänge ganz sicher zu sein. Wir sind aber noch nicht in der Lage, mit dem geringsten Materialaufwand die Kräfte zu beherrschen oder für jede Aufgabe Größe und Form des Schiffes so festzulegen, daß es mit dem erreichbaren Minimum von Maschinenleistung bewegt werden kann; oder, anders ausgedrückt, aus Unkenntnis über eine Reihe von Fragen müssen wir an allen Stellen mit übermäßigen Sicherheitsfaktoren rechnen, überall zuviel tun, um sicher Gefahren zu vermeiden.

Ein Schiff für eine bestimmte Tragfähigkeit bei bestimmter Geschwindigkeit zu bauen, ist im allgemeinen eine einfache Aufgabe, schwer aber und ein Zeichen der Meisterschaft ist es, die gestellten Bedingungen mit einem möglichst kleinen Schiff mit den geringsten Bau- und Betriebskosten zu erfüllen. Die wissenschaftliche Behandlung des Schiffbaues ist besonders schwierig, weil nur wenige seiner Probleme durch Laboratorien angefaßt werden können. Für die Untersuchung im Laboratorium eignen sich außer der Prüfung des Materials und seiner Verbindungen die Bestim-

mungen des Widerstandes und der Unterwasserform für den kleinsten Widerstand, der Stabilität sowie der Roll- und Stampfbewegungen; ferner die Untersuchung der Propulsion durch Schraube, Rad und Wasserstrahl. Zur Bestimmung des Widerstandes dienen die Schleppversuchsanstalten (Abbildung 51 und 52), von denen Deutschland z. B. drei besitzt, die älteste in Bremerhaven im Betrieb des Norddeutschen Lloyd, die zweite im Betrieb der Dresdener Maschinenfabrik und Schiffswerft Uebigau, und die dritte auf der Schleuseninsel im Tiergarten Berlins im gemeinsamen Betrieb des Ministeriums der öffentlichen Arbeiten und des Reichsmarineamts; eine vierte ist für das Reichsmarineamt in Marienfelde bei Berlin kürzlich erbaut. Die Technischen Hochschulen haben bisher noch keine solche Anstalt, obgleich gerade hier gründliche wissenschaftliche Arbeiten auch über andere Probleme des Schiffbaues, unabhängig von den Anforderungen der Praxis, am besten geleistet werden könnten; es sind zurzeit allerdings solche Anlagen projektiert für die Technischen Hochschulen in Berlin und Danzig, auch ein ähnliches Institut in Hamburg; hoffentlich verwirklichen sich diese Projekte, um die erwähnten Probleme einer Lösung entgegenzuführen.

Es bleiben aber noch eine Reihe wichtiger Fragen, die nur auf den Schiffen selbst untersucht werden können, einige hiervon sind seitens der Kriegsmarine behandelt, z. B. die Ruderwirkungen und die dabei auftretenden Kräfte, die Schlingerbewegungen, und ferner die Schiffsschwingungen (Vibrationen), für deren Untersuchung und Beherrschung besonders die von O. Schlick erfundenen Methoden von Bedeutung sind.

Sehr wenig aber wissen wir noch über die Durchbiegungen der Schiffe im Seegang und die dabei auftretenden Kräfte. Untersuchungen nach dieser Richtung, zu denen auch die Messung der größten Meereswellen nach Länge, Höhe, Form und Geschwindigkeit gehört, sind leider außerordentlich schwierig. Sie erfordern die Teilnahme an einer längeren Seereise, die Mitnahme recht umständlicher Apparate, die bei schlechtem Wetter sehr schwierig zu bedienen sind. Trotzdem müssen die Untersuchungen begonnen und durchgeführt werden, nur so ist Klarheit über die inneren Vorgänge im Material des Schiffes beim Seegang zu gewinnen, nicht aber durch mathematische Grübeleien. „Weniger rechnen und mehr versuchen" muß hier trotz der großen Schwierigkeiten die Losung werden.

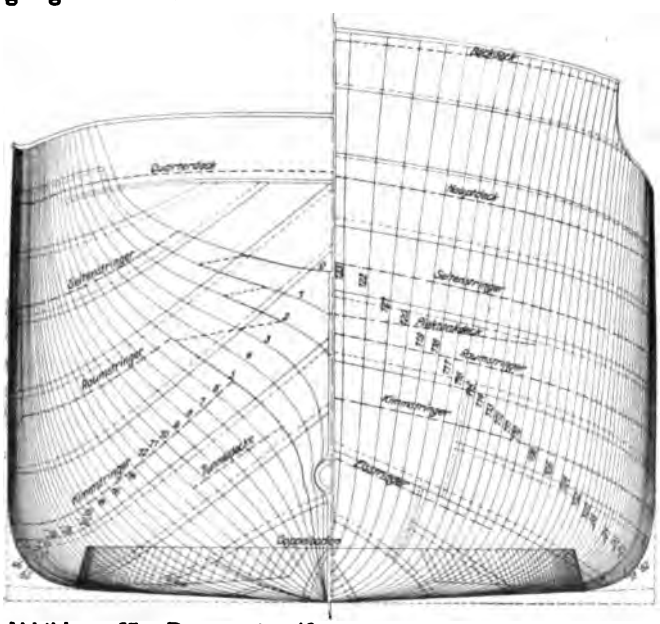


Abbildung 57. Bauspantenriß eines Quarterdeckdampfers für große Küstenfahrt. (Hauptabmessungen s. Abbildung 6.) Die Nummern bezeichnen die Bauspanten.

KONSTRUKTION. Für die Konstruktion eines Schiffes, d. h. für die zeichnerische Festlegung von Hauptabmessungen, Form, Raumeinteilung und Ausrüstung sowie für die Bestimmung der Hauptverbände nach Materialstärken und Anordnung bilden außer den eben behandelten Rechnungen und Versuchen die bestehenden Gesetze, Verordnungen und Vorschriften eine wichtige Grundlage.

Gesetze und Vorschriften. Der Staat beschäftigt sich mit den Schiffen nur nach zwei Richtungen: der Sicherheit der Personen und den Abgaben. In Großbritannien ist dem Handelsamt (Board of Trade) die Sicherheit der Schiffahrt unterstellt. Die Deutsche Regierung (Reichsamt des Inneren) benutzt als Organ hierzu, soweit die Schiffe selbst in Frage kommen, die Seeberufsgenossenschaft, die Unfallverhütungsvorschriften erläßt und deren Befolgung kontrolliert; direkt auf Bau und Betrieb der Schiffe wirken ferner die Vorschriften und Gesetze über das Auswanderungswesen (in Deutschland kontrolliert durch Reichskommissare in den Haupthäfen).

Abbildung 58. Schiffbauhalle der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft in Flensburg. Die Abbildung zeigt die Bearbeitungsmaschinen für Platten und Winkel (Scheren und Lochstanzen) und die Deckenkrane zum Transport der Bauteile.

Von größter Bedeutung aber, weit mehr als alle staatlichen Vorschriften, sind für den Bau der Handelsschiffe die Klassifikationsgesellschaften; sie bilden das Rückgrat der Handelsschiffahrt und haben durch Selbstkontrolle bisher zum Glück eine über die erwähnten Vorschriften hinausgehende staatliche Kontrolle mit ihren unvermeidlichen Störungen verhindert. Der Staat anerkennt direkt oder indirekt den Wert dieser Selbstkontrolle, indem z. B. in Deutschland Reichspostdampfer und Auswandererschiffe den Vorschriften des Germanischen Lloyd entsprechen müssen; auch die Seeberufsgenossenschaft enthält in ihren Unfallverhütungsvorschriften eine Anzahl Bestimmungen, die dem Germanischen Lloyd entnommen sind oder von demselben als technischem Beirat der Seeberufsgenossenschaft ausgearbeitet sind (Vorschriften über Anker, Boote, Schotteneinteilung, Freibord).

Aufgabe dieser Gesellschaften ist es, die Reedereien von der Verantwortung über den Zustand ihrer Schiffe zu entlasten, und zwar durch Vorschriften für den Bau, durch dauernde Beaufsichtigung und eingehende Untersuchungen in bestimmten Zeitabschnitten. Das Ergebnis dieser Kontrolle ist die Erteilung einer „Klasse" als Ausdruck für den Zustand der Schiffe, als Garantie für die Seetüchtigkeit nach Material, Herstellung und Ausrüstung. Die drei größten Klassifikationsgesellschaften sind nach der Reihenfolge ihrer Gründung: Bureau Veritas, gegründet 1828, mit dem Sitz in Paris; Lloyds Register of British and Foreign Shipping (1834, London); Germanischer Lloyd (1867, Berlin). Von diesen ist die weitaus bedeutendste Lloyds Register, das zurzeit über 10000 Schiffe mit etwa 20 Millionen Brutto-Registertonnen beaufsichtigt, während die beiden anderen je etwa 4 Millionen Tonnen klassifiziert haben. Außer

diesen Gesellschaften bestehen in Europa und Amerika noch einige andere, jüngere und kleinere; keine der Gesellschaften beschränkt sich auf die Schiffe des Landes, sie sind alle international, wenn auch die einheimischen Schiffe überwiegen. Für die Dauerkontrolle der Schiffe haben die großen Gesellschaften in jedem großen Hafen der Erde einen oder mehrere Vertreter, die die in ihrem Bezirk beheimateten oder verkehrenden Schiffe dauernd überwachen und über jedes Ereignis an die Zentrale berichten. Das umfangreiche Material wird nun in der Zentrale unter Berücksichtigung aller Fortschritte der Technik zu Bauvorschriften verarbeitet, die jedes Jahr (Lloyds Register) oder alle zwei Jahre (Germanischer Lloyd) in neuer Auflage erscheinen.

Mit Hilfe der weitverzweigten Organisation wird von den beiden erstgenannten Gesellschaften auch ein internationales, d. h. ein alle Seeschiffe enthaltendes Schiffsregister geführt, während das Register des Germanischen Lloyd nur die bei ihm klassifizierten und die unter deutscher Flagge fahrenden Schiffe registriert. Aus den Registern sind für jedes Handelsschiff der Erde und seine Maschinenanlage die Hauptangaben über Besitzer, Bauwerft, Alter, Größe und Bauart zu entnehmen. Lloyds Register und Bureau Veritas verdichten ihr umfassendes Material in sehr wertvollen internationalen Statistiken, die die Grundlage für eine Reihe von volkswirtschaftlichen und verkehrsvergleichenden Untersuchungen abgegeben haben.

Abbildung 59. Hintersteven des Fracht- und Passagierdampfers „Cincinnati" der Hamburg-Amerika-Linie in der Gießerei der Schichauwerft in Elbing. L = 177,47 m, B = 19,92 m, H = 13,24 m, Reg.To = 16339. Der Steven besteht aus drei Stahlgußstücken, die mit Laschen verbunden sind.

Einfluß auf den Bau haben ferner die Vermessungsvorschriften, deren heutige Form in einem englischen Gesetz (Merchant Shipping Act) von 1854 ihre Grundlage hat. Wenn auch die jetzt bestehenden Vorschriften nicht mehr zu so gefährlichen Konstruktionen verleiten, wie dies zu Anfang des vorigen Jahrhunderts der Fall war, so veranlassen dieselben doch noch eine Reihe von baulichen Einzelheiten, die dem Zweck der Schiffe hinderlich sind und unter Umständen gefährlich werden können; bedingt werden solche Bauarten durch das begreifliche Streben nach geringem Netto-Raumgehalt, da nach diesem die Abgaben für Häfen, Lotsen usw. berechnet werden. Eine weitere recht unerfreuliche Folge dieser Vermessungsvorschriften ist die ungerechte Behandlung der Segelschiffe, die gegenüber den Dampfern durch zu hohe Vermessung und entsprechende hohe Abgaben schwer geschädigt werden.

Die Vermessung soll den Inhalt der Räume des Schiffes feststellen. Dazu wird vermessen der Raumgehalt unter Deck und der Inhalt der Aufbauten (die Einheit ist die Registertonne von 100 cbf engl. = 2,83 cbm); von Einzelheiten abgesehen, ergibt dies den Bruttoraumgehalt. Nach Abzügen für den Maschinenraum und der sonstigen zum Betrieb des Schiffes notwendigen Räume ergibt sich der Nettoraum-

gehalt, der seinem Sinne nach die für Ladung oder Passagiere benutzbaren Räume darstellen soll. Da aber für die Maschinenräume viel mehr abgezogen wird, als tatsächlich von Maschine und Kesseln beansprucht wird, zeigt der Nettoraumgehalt für Dampfer heute nicht mehr deren Handelswert an und ist daher kein geeignetes Vergleichsmaß; besser ist für Vergleiche immerhin der Bruttoraumgehalt zu benutzen, obgleich auch hiervon durch besondere Kniffe große Räume ausgeschlossen werden können. Abgaben und offizielle Statistiken beruhen fast durchweg auf dem Nettoraumgehalt; die ersteren sind daher ungerecht, und die letzteren nur mit größter Vorsicht zu benutzen.

Abbildung 60. Hellingkrananlage mit fahrbaren Turmdrehkranen auf der Werft des Bremer Vulcan, Schiffbau und Maschinenfabrik, in Vegesack, ausgeführt von der deutschen Maschinenfabrik A.-G. in Duisburg. Im Vordergrunde: Turmdrehkran mit Fahrbahn auf Werftflur; im Hintergrunde Cantileverkran auf Hochbahn (Hochbahn links sichtbar).

Zeichnungen. Unter Berücksichtigung der Gesetze und Vorschriften kann nach den obenerwähnten Rechnungen das Schiff entworfen werden, d. h. die zeichnerische Grundlage geschaffen werden, wonach der Besteller (Reederei), ev. der Staat (z. B. für Reichspostdampfer), sowie die Klassifikationsgesellschaft die Genehmigung für die Bauausführung erteilen kann. Den Besteller interessieren dabei hauptsächlich die Hauptabmessungen von Schiff, Kesseln und Maschinen, die Raumeinteilung, die Tragfähigkeit und Form. Die Klassifikation beschäftigt sich nur mit der Stärke und Anordnung der Schiffsverbände und mit der Ausrüstung. Drei sogenannte Hauptspante, mit Anordnung und Stärke der wesentlichen Verbände zeigen die Abbildungen 53—55, und zwar Abbildung 53 für den kleinsten

Abbildung 61. Hellingkrananlage mit feststehenden Turmdrehkranen. Die Krane auf der linken Seite sind durch eine Hängekranlaufbahn in halber Höhe verbunden, die über die ganze Länge der Helling zum Heranschaffen des Materials geführt ist. Ausgeführt für die A.-G. „Weser" in Bremen von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. in Duisburg. Auf der rechten Seite der Abbildung stehen fahrbare Turmdrehkrane wie in Abbildung 60.

seegehenden Dampfer, Abbildung 54 für einen großen Frachtdampfer und Abbildung 55 für einen Schnelldampfer, dessen Anordnung und Stärke der Verbände in Vergleich gestellt ist mit dem Hauptspant des „Great Eastern" aus dem Jahre 1856 (Abbildung 56).

Abbildung 62. Hellingkrananlage von Blohm & Voß, Kommanditgesellschaft a. A. in Hamburg. Leichtes, weitgespanntes Gerüst mit Hängekranen auf Längsbahnen. Ausgeführt von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. in Duisburg.

Die Raumeinteilung von einfachen Entwürfen, für einen mittleren und großen Frachtdampfer, zeigen die Abbildungen 6 und 8; entsprechende Entwurfzeichnungen von den großen Personen- oder Sonderschiffen können aus Platzmangel nicht gegeben werden, sind aber in der Fachliteratur in großem Umfange zu finden.

3. DIE WERFTEN UND IHRE EINRICHTUNGEN

MATERIALBESCHAFFUNG. Vielgestaltig wie das Schiff als Ganzes und in seinen Teilen, ist auch seine Herstellung auf den Werften; hierbei müssen fast alle Teile der weitverzweigten mechanischen Industrie und auch einige Teile der chemischen Industrie direkt oder indirekt mitwirken zur Anfertigung des Materials für den Schiffbau. Als „Material" in weiterem Sinne gilt hierbei alles, was nicht auf den Werften selbst hergestellt wird, sondern von außerhalb bezogen wird, also Platten und Winkel für den Schiffskörper, Guß- und Schmiedeteile für Kessel und Maschinen, Ausrüstungsteile wie Anker, Ketten, Boote, Masten und Ladebäume, Hilfsmaschinen für Ruder, Anker und Ladung, Einrichtungsteile wie Fenster, Bäder, Klosetts, Betten, Möbel, ja ganze Wohnkammern und Salons, Hilfsanlagen, z. B. für Lenz- und Ballastleitung mit Rohren, Ventilen und Pumpen, für Beleuchtung und Kraft mit Dynamos, Motoren, Kabeln und Apparaten, für Kühlung der Vorräte mit Eismaschinen, Leitungen und Isolierräumen, für Heizung mit Apparaten und Leitungen. Alles dies ist, soweit es von außerhalb bezogen wird, Material für den Schiffbau, und es ist die Aufgabe der Werften, alle diese Teile, soweit sie Rohmaterial sind, für den Schiffskörper und die Maschinenanlage zu verarbeiten und das übrige anzupassen und einzubauen. In welch großem Umfange der Schiffbau Auftraggeber für die übrige Industrie ist, mag mit einigen Zahlen erläutert werden. Ein Riesenschiff wie „Olympic" oder „Imperator" kostet ungefähr 30 Millionen Mark, davon gehen ungefähr 20 Millionen direkt an die übrige Industrie für Material, und nur 10 Millionen werden auf der Werft an Löhnen und Betriebskosten verarbeitet. Ein modernes Linienschiff kostet vielleicht im ganzen 50 Millionen, davon geht nahezu 2/3 auf Armierung (Geschütze, Torpedoausrüstung und Munition) und Panzerung, die in der Regel von dem Besteller der Werft fertig

Abbildung 63. Kielstapelung des Riesendampfers „Imperator" der Hamburg-Amerika-Linie (Vulcanwerke in Hamburg). (Hauptabmessungen s. Abbildung 26.) Infolge der zum Stapellauf nötigen geneigten Lage des Kiels sind am Vorderende sehr hohe Stapel erforderlich.

zum Einbau geliefert werden. Nur der Rest mit höchstens 20 Millionen geht über die Werft und verteilt sich von dort etwa in gleichem Verhältnis wie bei dem Riesenpersonenschiff mit zwei Dritteln an die Hilfsindustrie und einem Drittel auf Löhne und Betriebskosten innerhalb der Werft. Trotz ihrer gewaltigen Gesamtkosten führen daher die Kriegsschiffe den Werften lange nicht die Beträge zu wie die Handelsschiffe, zumal letztere an der Gesamttonnenzahl natürlich weit überwiegen.

Uns interessiert hier nur der immerhin noch recht erhebliche Teil der Gesamtkosten, der auf den Werften selbst verarbeitet wird, und die Einrichtungen, die dazu notwendig sind.

BAU DES SCHIFFSKÖRPERS. Die Herstellung des Schiffskörpers aus Platten und Winkeln hat viel Ähnlichkeit mit dem Bau von Brücken und Eisenkonstruktionen, insofern hier und dort Platten und Winkel verarbeitet werden; dazu aber kommt im Schiffbau als besondere Schwierigkeit noch die Formgebung entsprechend den Rundungen des Schiffes. Hierzu muß erst das Schiff in natürlicher Größe in seinen Formen auf dem „Schnürboden" aufgezeichnet werden; vom Schnürboden werden dann die Modelle oder Maße für die Spanten in die Werkstatt gegeben (Abbildung 57). Die Spanten werden in Glühöfen warm gemacht und auf Richtplatten gebogen. Die Glühöfen erhalten neuerdings für schnellen und ökonomischen Betrieb in ähnlicher Weise wie die in Band II, Seite 101 dargestellten Öfen vorgewärmte Luft und unterscheiden sich von den dort behandelten Öfen nur durch ihre große Länge bis 25 m und darüber, die den langen Spanten der Riesenschiffe entsprechen muß. Nach der Formgebung werden die Spanten auf Länge geschnitten und gelocht. Ebenso zu behandeln, aber nur kalt zu formen sind die Decksbalken und sonstigen Winkel und Profile. Die Platten für die geraden Stellen des Schiffes (Boden und Seiten des Schiffes, Decks und Schotten) machen keine Schwierigkeiten, sie werden nach Zeichnung und Schnürbodenmaßen angezeichnet, geschnitten, gelocht, gebohrt und gehobelt. Besondere Bearbeitung aber erfordern die Platten der Kimmrundung und der Enden des Schiffes, entsprechend der Form des Schiffes; hierzu

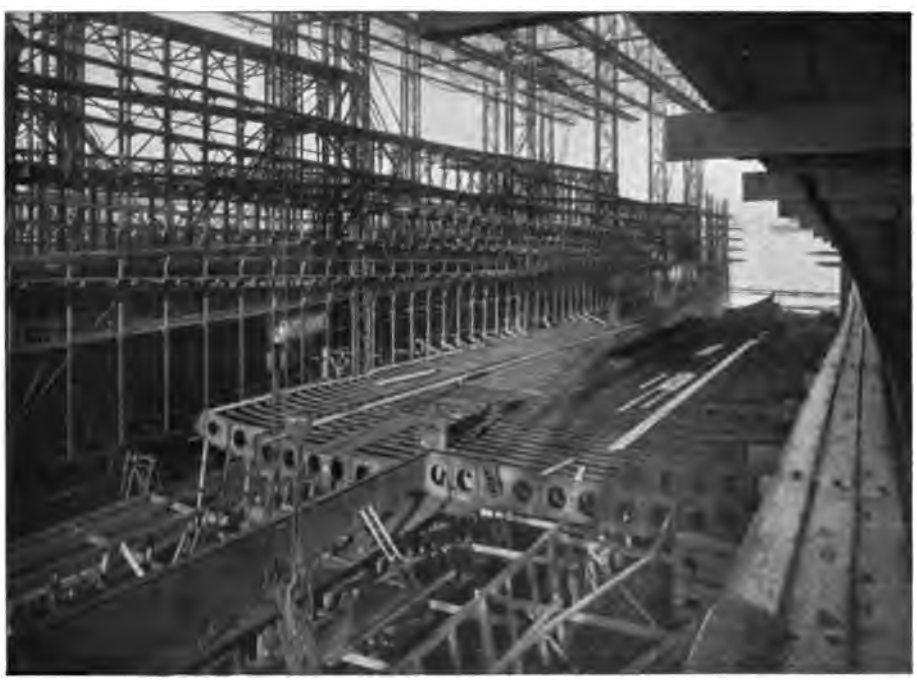


Abbildung 64. Doppelboden des Riesendampfers „Imperator" der Hamburg-Amerika-Linie (Vulcanwerke in Hamburg). Die Vernietung der Bauteile erfolgt durch hydraulische Bügelnieter, die an Deckenkranen aufgehängt sind.

dienen die schweren Walzen und hydraulischen Pressen, mit denen fast alle Platten, selbst bis 2 m Breite, 10 m Länge und 5000 kg Gewicht kalt geformt werden können; nur wenige Platten mit scharfer Krümmung oder ganz unregelmäßiger Form müssen erst im Glühofen warm gemacht werden. Der Transport der Bauteile vom Lager nach der Werkstatt und innerhalb dieser von Maschine zu Maschine erfolgt durch Wagen auf Schmalspurgleisen oder durch Deckenkrane. Das Bild einer Schiffbauwerkstatt mit den vielgestaltigen Maschinen und Kranen zeigt Abbild. 58. Ein Zeichen von guter Arbeitseinteilung und richtiger Aufstellung der Werkzeugmaschinen ist es, wenn der Transport immer in gleicher Richtung der fortschreitenden Bearbeitung entsprechend vor sich geht und die recht störenden Rückwege und Kreuzungen vermieden werden.

Abbildung 65. Blick in den Raum des Riesendampfers „Imperator" der Hamburg-Amerika-Linie während des Baues (Vulcanwerke in Hamburg). Auf der Abbildung sind Querschotte mit ihren starken senkrechten Versteifungen sichtbar.

Wenn inzwischen auch in der Winkelschmiede die Eckwinkel für die wasserdichten Teile geschweißt und gekröpft und die großen Gußstücke aus Stahl (Abbildung 59) fertiggestellt sind, können die Teile auf der Helling zusammengebaut werden; kleinere Teile werden zweckmäßig schon vorher zusammengenietet, um das Aufstellen zu erleichtern.

HELLINGE. Die Helling, auch der Helgen genannt, ist der Platz für das Aufstellen und Zusammennieten der in der Werkstatt vorbereiteten Bauteile und gleichzeitig auch Arbeitsplatz für vieles, das erst nach dem Aufstellen fertiggemacht werden kann. Die Helling hat eine Neigung nach dem Wasser zu und setzt sich in der „Vorhelling" unter Wasser fort, um den Stapellauf zu ermöglichen. Für die Aufnahme der schweren Last des Schiffes beim Bau und beim Stapellauf müssen in weichem Boden (Sand oder Marsch) Rammpfähle gesetzt werden.

Von großer Bedeutung sind die mechanischen Transportmittel auf der Helling; unmöglich ist es geworden, für große Schiffe die mehr als 20 m langen Balken und mehrere tausend Kilogramm schweren Platten mit Menschenhand auf das Schiff zu bringen. Auch für die hydraulischen und pneumatischen bis 8000 kg schweren Bügelnieter sind Hebezeuge notwendig. Beide Gründe, Transport der Bauteile und Aufhängen der Bügelnieter, haben zu den Krananlagen geführt, die den Hellingen moderner Werften ein charakteristisches Gepräge geben. Sehr einfach ist die Aufgabe, eine Platte oder einen Balken über die Helling zu bewegen, überraschend vielseitig aber ist die Lösung, die diese einfache Aufgabe im In- und Ausland auf den ver-

schiedenen Werften in den letzten Jahrzehnten gefunden hat. Unter dem Druck der hohen Löhne sind Ende des vorigen Jahrhunderts die mechanischen Transportmittel für den Schiffbau in Nordamerika in weitem Umfang durchgebildet und verbreitet worden. Aber auch vereinzelte andere Werften in Großbritannien, wie Harland & Wolff in Belfast, haben schon vor Jahrzehnten Krane zum Tragen der schweren hydraulischen Bügelnieter über den Schiffen aufgestellt. In Amerika sind alle großen Werften mit Krananlagen über den Hellingen versehen, auch in Deutschland seit wenigen Jahren nahezu alle, dagegen finden wir an den Hauptstellen des Weltschiffbaues, an Clyde und Tyne, merkwürdig wenig derartige Hilfsmittel. Sie werden dort für zu teuer gehalten, selbst die „Lusitania" ist mit den primitiven Hilfsmitteln — den Masten mit Ladebäumen — gebaut.

Ein Blick auf die Abbildungen 60, 61 und 62 zeigt die überraschende Vielseitigkeit der Krananlagen; um nur einige Namen zu nennen: Ausleger auf Hochbahnen, Bockkran, Deckenkran, feste Turmkrane, fahrbare Turmkrane, Seilbahnen; der gleiche Name bezeichnet oft Anlagen von großer Verschiedenheit. In Deutschland und im Ausland sind in neuerer Zeit die Formen der Deckenkrane, wie sie schon im Jahre 1900 auf dem Stettiner Vulcan gebaut worden sind, am meisten angewendet worden; sie sind zwar die teuersten, aber sicher die brauchbarsten.

Selten nur sind die Hellinge zu einer geschlossenen Werkstatt abgedeckt worden; die Nachteile der schlechten Beleuchtung, der hohen Kosten, des betäubenden Lärms überwiegen die Vorteile des Schutzes vor Wind und Wetter, die keineswegs in dem erhofften Maße eingetreten sind, da in der Riesenhalle Zugluft nicht zu vermeiden ist.

Abbildung 66. Blick in das Vorschiff des Riesendampfers „Imperator" der Hamburg-Amerika-Linie während des Baues (Vulcanwerke in Hamburg). Mehrere Decksbalkenlagen übereinander, rechts und links die Spanten.

Die Abbildungen zeigen, welche ungeheuren Abmessungen bei den Helling-Krananlagen schon erreicht sind. (Längen bis über 250 m, Breiten bis zu 60 m, lichte Höhen bis zu 40 m). Die Größen werden mit den Schiffen weiter wachsen müssen, so lange Schiffe auf der Helling gebaut werden.

Mit den geschilderten Hilfsmitteln für Bearbeitung und Transport wird nun das Schiff auf der Helling zusammengebaut und vernietet: zunächst wird der Kiel auf

Kielstapel gelegt (Abbildung 63), dann die Spanten des Doppelbodens zu beiden Seiten angefügt und abgestützt (Abbildung 64), die Seitenspanten aufgestellt, die Schotte errichtet (Abbildung 65), darauf die Decksbalken und Decks gelegt (Abbildung 66 und 67) und das Schiff mit der Außenhaut umkleidet (Abbildung 68 und 70).

Abbildung 67. Hauptdeck des Riesendampfers „Imperator" der Hamburg-Amerika-Linie während des Baues (Vulcanwerke in Hamburg). Decksbalken teilweise beplattet; über dem Schiff die Längsbahnen der Hellingkrane.

Hydraulische Bügelnieter (Abbildung 64) verbinden im Verein mit pneumatischer und Handnietung die einzelnen Platten, Balken und Profile zu festem und wasserdichtem Gefüge, bis das Schiff in seinen Hauptverbänden aus Platten und Winkeln zum Stapellauf fertig auf der Helling steht (Abbildung 69).

STAPELLAUF. Kein Bauwerk hat auf seinem Lebensweg einen so wichtigen, schwierigen und interessanten Augenblick wie das Schiff bei seinem Stapellauf. Es gibt wohl auch in der ganzen Technik kein so wirkungsvolles Schauspiel wie der Ablauf eines großen Schiffes. In wenigen Minuten vollziehen sich die letzten Vorbereitungen, wirksam erhöhen einzelne Hammerschläge und laute Befehle die Spannung, plötzlich der Schlag eines Fallbeils, die letzten Fesseln sind gelöst, langsam, mit stetig zunehmender Geschwindigkeit setzt sich der Koloß in Bewegung, und in wenigen Sekunden hat er sein Ziel erreicht, er schwimmt. Weniger erfreulich als für den Zuschauer ist ein Stapellauf für den verantwortlichen Ingenieur; was sich hier in wenigen Sekunden vollzieht, bedarf sorgfältigster langwieriger Rechnungen und Überlegungen. Die Vorbereitungen zum Stapellauf beginnen mit der Kiellegung, die erste Platte entscheidet in gewissem Sinne, ob der Stapellauf gelingen kann oder nicht, sie muß richtig liegen in der Länge der Helling, sie muß die richtige Höhe über der Helling und die richtige schräge Lage haben. Selbstverständlich muß vorher auch die Helling daraufhin gebaut sein, daß sie die beim Stapellauf an gewissen Stellen auftretenden Kräfte aufnehmen kann. Bevor also die erste Kielplatte gelegt wird, müssen die rechnerischen Untersuchungen über den Stapellauf beendet sein. Diese Rechnungen sollen die Sicherheit geben, daß die Neigung groß genug ist, um das Schiff zum Gleiten zu bringen, aber nicht zu groß, da sonst das Festhalten bis zum richtigen Augenblick gefährdet ist, ferner daß das halb abgelaufene Schiff nicht über die Unterkante der Vorhelling kantet, daß beim Aufschwimmen des Hecks der Druck des Vorschiffs auf den unteren Teil der Helling nicht zu groß wird. Alle diese Untersuchungen setzen voraus, daß das Stapellaufgewicht angenähert bekannt ist, dasselbe kann natürlich nur durch Vergleiche mit ähnlichen Schiffen berechnet werden; ergibt die Rech-

Abbildung 68. Hydraulische Nietung des Scheergangs (oberster Gang der Außenhaut) des Riesendampfers „Olympic" der White-Star-Line, Liverpool. L = 258 m, B = 28,2 m, H = 19,60 m, Reg. To = 45000. Gebaut bei Harland & Wolff Ltd. in Belfast.

nung aber zu hohe Belastungen, so muß entweder vor der Kiellegung die Helling verstärkt werden, oder man entschließt sich, das Schiff auf der Helling nur gerade so weit fertigzustellen, daß es sicher ablaufen kann. Dies ist immer ein Notbehelf, denn der Aufbau der Schiffe auf der Helling in der Nähe der Werkstätten wird, besonders bei Hellingkrananlagen, billiger, als wenn die Bauteile nach dem Stapellauf dem am Kai liegenden Schiff zugebracht werden müssen. In den meisten Ländern wird das Schiff längs zu Wasser gelassen (Abbildung 71), so — bis auf wenige Ausnahmen bei kleinen Schiffen — in England, Deutschland und Frankreich, und zwar wird das Schiff aus bestimmten mit dem Stappellauf zusammenhängenden Gründen so auf die Helling aufgebaut, daß das vordere Ende oben nach dem Lande zu steht und das Heck unten am Wasser; die Schiffe laufen also rückwärts ab, und zwar in England und Deutschland auf doppelseitigem Schlitten, in Frankreich meist auf einem Kielschlitten mit nur geringem Seitenstützschlitten. In Amerika werden an den Binnenseen selbst die größten Schiffe bis zu 180 m Länge querschiffs zu Wasser gelassen (Abbildung 72), eine Methode, die sich dort infolge der Lage der Werften an schmalen Kanälen aus dem Kleinen zum Großen entwickelt hat.

Die besonderen Vorbereitungen zum Stapellauf bestehen in dem Unterbau der Ablaufbahnen, die beim Längsablauf im Abstand von etwa einem Drittel der halben Schiffsbreite zu beiden Seiten des Kiels mit einer bestimmten Neigung ($^1/_{12}$—$^1/_{24}$ je nach Art und Größe der Schiffe) gelegt werden; die Bahnen haben für große Schiffe etwa

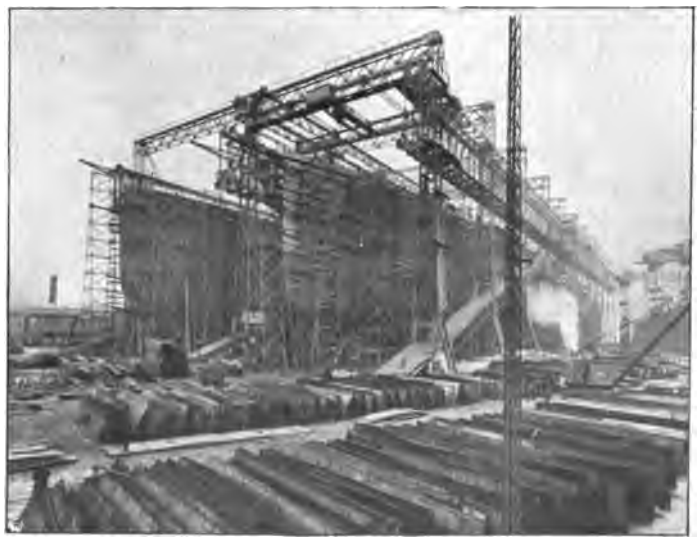


Abbildung 69. „Olympic" und „Titanic" auf der Helling bei Harland & Wolff Ltd. in Belfast einige Wochen vor dem Stapellauf (Reederei White-Star-Line, Liverpool). (Hauptabmessungen s. Abb. 68.) Über den Schiffen das Hellingkrangerüst.

eine Breite von 1 m und erstrecken sich vom obenstehenden Vorderende des Schiffes bis an das untere Ende der Vorhelling, das etwa 1—3 m unter Hochwasser liegt.

Auf den genannten Bahnen wird der Schlitten aufgebaut, dessen untere Flächen auf den Bahnen gleiten, dessen obere das Schiff tragen sollen; hierzu muß sich der aus Holzbohlen und -planken aufgebaute Schlitten vorn und hinten der scharfen Form des Schiffes anpassen; das erfordert besonders vorn, wo die Wände des Schiffes nahezu vertikal stehen, umständliche Absteifungen und Verbindungen unter dem Kiel her von einer Seite zur anderen (Abbildung 73 und 74). Nach dem Unterpassen des Schlittens wird derselbe wenige Tage vor dem Stapellauf so weit wieder abgenommen, daß die Bahn und die Laufplanken des Schlittens mit Rindertalg und Seife bestrichen werden können. Wenn nach dem Wiederunterbau des Schlittens die Stopper gesetzt sind, die das Schiff bis zum letzten Augenblick halten sollen, kann das Schiff von seinen Kimm- und Kielstapeln, auf denen es während des Baues geruht hat, übertragen werden auf den Schlitten; das geschieht meistens durch Eintreiben von Keilen zwischen die beiden unteren Plankenreihen des Schlittens („Aufkeilen"), also durch ein Heben des Schiffes so weit, daß die Kimm- und Kielstapel lose werden und fortgenommen werden können; in vereinzelten Fällen hat man auch das Schiff, anstatt es durch Keile zu heben, auf die Schlitten gesenkt, indem Sandtöpfe, auf denen Kimm- und Kielstapel wie auf dem Kolben eines Zylinders ruhen, durch Lösen einer Schraube entleert werden.

Abbildung 70. Boden des Riesendampfers „Olympic" der White-Star-Line (Liverpool) kurz vor dem Stapellauf. Gebaut bei Harland & Wolff, Ltd. in Belfast.

Die Stopper zum Halten des Schiffes bestehen entweder aus schweren Hebelbalken oder aus hydraulischen Pressen, die mit einfachen Vorrichtungen (Durchschlag einer Leine mit einem Beil oder Öffnen eines Ventils) beim Stapellauf gelöst werden. Für den Fall, daß das Schiff sich nicht von selbst in Bewegung setzen will, sind meist noch vorn kräftige hydraulische Pressen angebracht; einmal in Bewegung gebracht, gleitet es mit schnell zunehmender Geschwindigkeit ins Wasser. Auf vielen Werften müssen infolge der geringen Wasserbreite besondere Bremsvorrichtungen (Wasserbremsen, nachgeschleppte Ketten oder Plattenhaufen, Keilbremsen) vorgesehen werden, damit das Schiff nicht in

Abbildung 71. Stapellauf auf der Reiherstieg-Schiffswerft und Maschinenfabrik in Hamburg. Auf der Abbildung ist die eigenartige Hellingkranlage mit Drahtseilen über der ganzen Länge der Helling erkennbar.

Abbildung 72. Seitlicher Stapellauf, besonders häufig an den amerikanischen Binnenseen angewandt, wo enge Flußläufe einen Längsablauf nicht gestatten. Der ablaufende Dampfer hat eine Länge von 154 m und einen Bruttoraumgehalt von 4900 Reg. To, entspricht also der Größe der größten Überseefrachtdampfer.

das gegenüberliegende Ufer rennt.

Trotz aller Sorgfalt bei der Vorbereitung mißglücken zuweilen Stapellaufe. Der bekannteste Mißerfolg ist der Querablauf des „Great Eastern" aus dem Jahre 1857, der nach gutem Anfang plötzlich stehenblieb und erst mit ungeheuren Kosten nach drei Monaten zu Wasser gebracht werden konnte. Auch in neuerer Zeit hat der verunglückte Stapellauf der „Principessa Jolanda" viel Aufsehen gemacht. Das Schiff, wie die meisten Schiffe an der norditalienischen Küste, war vollständig fertig mit Kessel und Maschinen und der gesamten Einrichtung; nachdem es fast seinen Ablauf beendet hatte, neigte es sich nach einer Seite, durch die offenen Fenster trat das Wasser ein, vergrößerte die Neigung, und nach wenigen Minuten sahen die vor Schreck starren Zuschauer nur noch einen kleinen Teil der Schiffsseite als kleine Insel im Meer, auf die sich die Besatzung gerettet hatte.

Um solche Gefahren zu vermeiden, gibt es außer der sorgfältigsten Vorbereitung und Berechnung aller Möglichkeiten nur das eine Mittel, den Stapellauf zu vermeiden. Im Wasser können Schiffe nicht aufgebaut werden, wohl aber hat man mit Erfolg versucht, Schiffe im Dock zu bauen und nach der Fertigstellung einfach durch Füllen des Docks aufschwimmen zu lassen. Diese Bauart trifft man vereinzelt in England; in Deutschland ist nur die Werft von Seebeck in Bremerhaven durch günstige Gelegenheit, ein brauchbares Dock billig zu erwerben, dazu gekommen, Neubauten im Dock aufzuführen. Diese jahrelang durchgeführte Bauart hat sich dort so bewährt, daß die Firma auf ihren Neuanlagen in Geestemünde gleichfalls zwei große Baudocks angelegt hat. Abgesehen von der Vermeidung der Gefahren und Kosten des Stapellaufs bietet diese Methode noch eine Reihe anderer wesentlicher Vorteile. Auf der Helling müssen alle Bauteile nach oben gebracht werden, für große Schiffe bis zu 20—30 m hoch, alle Arbeiter, Meister und Ingenieure müssen

Abbildung 73. „Amerika", fertig zum Stapellauf auf der Werft von Harland & Wolff Ltd., Belfast. Die an Ketten hängenden Anker dienen zum Abstoppen der Schiffe nach dem Stapellauf. L = 203,9 m, B = 22,65 m, H = 15,96 m, Reg. To = 22622.

mehreremal am Tage die Höhe ersteigen; das kostet viel Zeit und hat auf einigen großen Werften zu Arbeiteraufzügen geführt. Außerdem wird dem Direktor und dem Aufsichtspersonal die Kontrolle der Arbeit in solcher Höhe wesentlich erschwert. Das alles wird viel besser beim Bau im Dock: ein Teil des Materials wird nach unten gebracht, das meiste nahezu horizontal aus der Werkstatt transportiert, und nur weniges braucht auf geringe Höhe gehoben zu werden; der Verkehr der Arbeiter zwischen Werkstatt und Schiff geht nahezu horizontal. Während das Schiff auf der Helling für den Ablauf mit Neigung gebaut werden muß, was Schwierigkeiten in der richtigen Aufstellung lotrecht zum Kiel und umständliche Abstützung erfordert, wird im Dock mit horizontalem Kiel und einfach lotrecht aufgestellten Spanten gearbeitet. Die für große Schiffe schwindelnde Höhe der Hellingkrananlage ist für das Dock nicht notwendig, das verbilligt Anlage und Betrieb dieser Krane.

Abbildung 74. Hintere Aufklotzung beim Stapellauf des Fracht- und Passagierdampfers „Berlin" des Norddeutschen Lloyd auf der A.-G. „Weser" in Bremen. An den Schrauben ist ein „Bremsschild" angebracht, das dazu dient, die freie Fahrt des Schiffes nach dem Stapellauf zu hemmen. L — 179,90 m, B — 21,28 m, H — 12,72 m, Reg.To — 17324.

Alle diese Vorteile würden natürlich längst zur ausschließlichen Anwendung der Baudocks geführt haben, wenn den Vorteilen nicht ein großer Nachteil entgegenstände: das sind die hohen Anlagekosten eines Trockendocks, wenigstens für unsere weiche Marsch- und Schlickküste. Wo aber ein Baudock verhältnismäßig billig herzustellen ist, wie an felsiger Küste, überwiegen die Vorteile bei weitem, und es ist zu erwarten, daß in absehbarer Zeit diese Baumethode besonders für Riesenschiffe immer weitere Verbreitung finden wird.

Abbildung 75. Großer Hammerkran zum Einsetzen schwerer Bauteile nach dem Stapellauf. Nutzlast — 150 t. Ausgeführt von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. in Duisburg für Joh. C. Tecklenborg, A.-G. in Geestemünde; im Hintergrunde die Hellingkrananlage mit zwei Schiffen im Bau.

AUSRÜSTUNG AM KAI.

Mit dem Stapellauf ist zwar ein wichtiger Bauabschnitt vollendet, das Schiff kann schwimmen, seine Hauptverbandteile, die ihm die nötige Festigkeit geben, sind eingebaut; noch aber fehlen im allgemeinen die Anlagen der Fortbewegung, des Betriebes, der Verwendung zu seinem besonderen Zweck. Während auf der Helling Platten und Winkel zusammengesetzt und vernietet wurden, haben andere Werkstätten (Schmiede, Schlosserei, Tischlerei) die Ausstattung hergestellt, und die Maschinenbau-

abteilung hat in ihren Werkstätten Kessel und Maschinen für den Einbau in das schwimmende Schiff vorbereitet. Ein Zeichen guter Disposition ist es, wenn am Stapellauftage schon die Kessel fertig zum Einsetzen am Ausrüstungskai liegen. Von nun an arbeiten alle Teile der Werft, Schiffbau und Maschinenbau, zusammen an der Fertigstellung des Schiffes. Am Ausrüstungskai laufen alle in den Werkstätten hergestellten, ferner die von außerhalb fertig bezogenen Teile zusammen, um in das Schiff eingebaut zu werden; wesentlich also für diese Arbeitsstellen sind gute Transportmittel und leistungsfähige Krane.

Abbildung 76. Großer Turmdrehkran für 250 t Probelast auf der neuen Werft der Vulcanwerke in Hamburg, ausgeführt von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. in Duisburg.

Verhältnismäßig leicht sind die Teile, die auf der Helling eingebaut werden, nur die Stevenstücke und das Ruder großer Schiffe wiegen über 10 t; weit schwerere Stücke müssen nach dem Stapellauf bewegt werden. Im Handelsschiffbau haben das größte Gewicht die Doppelrundkessel, die in einem Stück eingesetzt werden müssen und normal bis zu 130 t wiegen; auch einzelne Maschinenteile, die nicht gut weiter untergeteilt werden können, erreichen dieses Gewicht; so wiegt der Rotor (d. i. Welle mit Schaufelkränzen) der Niederdruckturbine der „Lusitania" 126 t. Im Kriegsschiffbau, wo Wasserrohrkessel und Turbinen von geringem Durchmesser verwendet werden, sind Panzerplatten, Türme und Geschütze die größten Gewichte, die gar nicht oder nur ungern geteilt werden können.

Abbildung 77. Großer Schwimmdrehkran von 150 t Nutzlast, ausgeführt von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. in Duisburg für Harland & Wolff Ltd. in Belfast, einen Kessel in den Riesendampfer „Olympic" einsetzend.

Auf allen großen Werften ist daher ein Riesenkran für mindestens 100—150 t Tragkraft bei großer Ausladung vorhanden, und zwar entweder als fester Uferkran oder als Schwimmkran. Jede dieser beiden Möglichkeiten hat ihre Vorteile und ihre Nachteile; feste Krane (Abbildung 75 und 76) geben einen vom Wind unabhängigen sicheren Betrieb und haben bequeme Gleiszufuhr von den Werkstätten, sie sind aber im allgemeinen teurer und verlangen, daß die Schiffe zu

beschränkt ist oder schnell verschlickt oder versandet. Bei doppelseitigen Schwimmdocks in U-Form (Abbildung 80 und 81) müssen die Schiffe längs hineinfahren, bei einseitigen (L-Form, Abbildung 79) ist auch ein Docken querschiffs möglich; die letzteren müssen wegen des einseitigen Auftriebs mit dem Land festbeweglich verbunden sein.

Nur die wichtigsten Gruppen einer Werft sind hier kurz behandelt worden, nur die Teile, die der Werft ihr charakteristisches Gepräge geben, wie Schiffbauwerkstatt, Hellinge, Krananlagen, Docks; im übrigen aber ist eine große Werft eine Fabrikstadt vielseitiger Art: Gießerei für Eisen, Stahl und Bronze, Schmieden für große und kleine Stücke, Sägerei und Zimmerei, Tischlereien für Modelle, Möbel und Salons, Kesselschmieden und Maschinenfabrik in größtem Maßstab, dazu Schweißerei, Verzinkerei und Kupferschmiede. Über die hauptsächlichen Werkstätten der Maschinenbauabteilung ist auf S. 162 einiges gesagt.

B. DIE SCHIFFSMASCHINEN

VON PAUL KRAINER

1. ALLGEMEINES

Wenn in den folgenden Abschnitten die Schiffsmaschine, ihre Entwicklung, die Grundlagen ihrer Konstruktion, ihr Bau und Betrieb behandelt wird, so sollten, der Tendenz dieses Werkes entsprechend, nur die dem friedlichen Verkehr, d. h. dem Antrieb der Handelsdampfer dienenden motorischen Anlagen in Betracht kommen, während die Kriegsschiffsmaschine ausscheiden müßte. Eine solche Trennung wäre jedoch unangebracht, kaum durchzuführen und gäbe nur ein höchst unvollständiges Bild von dem heutigen Stand des Schiffsmaschinenbaues; denn, entgegen dem Kriegsschiffbau, dessen Einfluß auf den Bau von Handelsschiffen stets von geringerer Bedeutung war, hat sich die Entwicklung der Handelsschiffsmaschine unter starker Beeinflussung von seiten der Kriegsschiffsmaschine vollzogen, aber auch umgekehrt haben die wirtschaftlichen Forderungen der Handelsschiffsmaschine ihre Wirkung auf die Konstruktion des Kriegsschiffsmotors ausgeübt, und die wichtigsten Probleme spielen aus einem Gebiet ins andere. Eine scharfe Sonderung würde manche Fragen im unklaren lassen und jedenfalls nur einen mangelhaften Einblick in die Schiffsmaschinenindustrie ergeben, die gleich beteiligt ist an der Handels- und Kriegsflotte, eine Industrie, die im Jahre 1911 bei einer Gesamtfabrikationsleistung von etwa 3 Millionen Pferdestärken Werte im Betrage von rund 400 Millionen Mark geschaffen hat. Von diesem Standpunkt — die Schiffsmaschine nicht nur als Mittel des Seeverkehrs, sondern auch als Produkt einer hochentwickelten und sehr bedeutenden Industrie angesehen — soll die Betrachtung in den folgenden Abschnitten durchgeführt werden.

Wenige Sondergebiete der Maschinentechnik weisen einen solchen dauernden Anstieg in ihrer Entwicklung auf wie der Schiffsmaschinenbau. Vor hundert Jahren fuhr der Schotte Bell mit seinem „Comet" den Clyde abwärts und eröffnete damit die europäische Personendampfschiffahrt. Für eine Stundengeschwindigkeit von 5 Meilen besaß das 13 m lange Schiff eine Maschinenleistung von 4 nominellen P.S.; 1912 durchqueren die schnellsten Ozeandampfer den Atlantik mit 25 Knoten und entwickeln in ihren Turbinen die enorme Leistung von 70000 P.S.

Die Panzerschiffe der ersten modernen Seeschlacht (Lissa) hatten für 12 Knoten Geschwindigkeit 3000 P.S., bei dem deutschen Linienschiffskreuzer „Moltke" von 23000 t Deplacement und 28 Knoten Geschwindigkeit (Abbildung 82) sind 85000 P.S. gemessen worden, und die neuesten in Bau gegebenen englischen „Dreadnought"-Kreuzer lassen einen Anstieg der Leistung über 100000 P.S. erwarten. Zum Vergleich sei erwähnt, daß die größte in Betrieb befindliche Zentrale der Berliner Elektrizitätswerke 70000 P.S. bei voller Inanspruchnahme leistet.

Solch gewaltige Entwicklung war nur dadurch zu erreichen, daß man einerseits den Arbeitsdruck in den Maschinen bedeutend steigerte, damit die Wirtschaftlichkeit erhöhte, anderseits durch Änderung der Kesselkonstruktion, durch Einführung des künstlichen Zuges, durch Erhöhung der Maschinenumdrehungszahl und Anwendung hochwertiger Materialien eine bedeutende Verringerung des Gewichtes der Maschine und ihres Raumbedarfs erzielte und auf solche Weise die Schaffung größter Einheiten ermöglichte; dieselbe Tendenz nach hoher Wirtschaftlichkeit, geringem Gewicht und Raumbedarf der Maschinenanlage ist es, die heute bei dem fast gewaltsam erscheinenden Eindringen des Verbrennungsmotors in den Schiffsbetrieb verfolgt wird.

Soweit sich überhaupt in solchen Fällen technischen Fortschritts Ursache und Wirkung unterscheiden lassen, darf hier ausgesprochen werden, daß die Möglichkeit zu diesem gewaltigen Anstieg der Schiffbautechnik in den letzten vierzig Jahren lediglich der Entwicklung der Schiffsmaschine zu danken ist. Man konnte das besonders deutlich im vergangenen Dezennium sehen: mit dem Beginn des 20. Jahrhunderts hatte die Kolbenmaschine die Höhe ihrer Vollendung erreicht, sie stellte in ihrer Art die vollkommenste Lösung des dampfmotorischen Problems dar, als die Dampfturbine auftrat und nun neue Möglichkeiten sich darboten, den Dampf in viel größeren Einheiten als motorische Kraft auszunutzen; das äußerte bald seine Rückwirkung auf den Schiffbau: von den 23-Knoten-Schnelldampfern „Kaiser Wilhelm II.", „Kronprinzessin Cecilie" mit ihren 45000 P.S. vollführte man den Sprung zur „Lusitania" und „Mauretania" von 25 Knoten und 70000 P.S., und England schuf den „Dreadnought"-Typ der Linienschiffe, den bald alle anderen Seemächte annahmen. Aus dem gepanzerten Kreuzer von 15000 t, 30000 P.S. und 23 Knoten Geschwindigkeit erstand der Linienschiffskreuzer von 18000 t, 60000 P.S. und 26½ Knoten, und im Bau von Torpedofahrzeugen ergab sich ein Anstieg von 500 t und 30 Knoten auf nahezu 1000 t und 33 Knoten, wozu es einer Erhöhung der Maschinenleistung von 10000 P.S. auf über 20000 bedurfte.

Und so wie der Unterseebootsbau eine mächtige Förderung erfahren hat durch die Schaffung eines für seine Zwecke geeigneten Verbrennungsmotors, so läßt sich wohl ziemlich sicher voraussagen, daß die heute noch im Versuchsstadium befindliche Anwendung des Verbrennungsmotors bei großen Seeschiffen, wenn von Erfolg gekrönt, der Entwicklung des Kriegs- und Handelsschiffbaues neue Richtlinien weisen wird.

Die unser ganzes Kulturleben so übermächtig beeinflussende Maschinentechnik mußte notwendig dahin führen, daß das moderne Schiff immer mehr „Maschine" wird, daß der motorische Antrieb an Bord der Schiffe täglich an Ausdehnung gewinnt; das große Schiff mit seinem vielgestaltigen und verwickelten Apparat ist heute ein zu höchster Vollendung gebrachter Maschinenkomplex geworden, denn außer den Antriebsmaschinen mit ihren vieltausend Pferdestärken sind oft über 100 Hilfsmaschinen vorhanden, teils zur Unterstützung des Maschinenbetriebs, teils für die Sonderzwecke des Schiffsbetriebs, und schließlich sind die Riesengeschütze unserer

Panzer, von denen ein Rohr über 300000 M. kostet, in letzter Linie nur Schießmaschinen von höchster Vollendung.

Für das Verständnis des folgenden und um ein Bild von der Entwicklung der Schiffsmaschine zu gewinnen, muß man sich die Aufgabe klarlegen, die der Schiffbauer dem Konstrukteur der Maschine stellt, ein Problem, dessen Lösung von vornherein durch die Eigenart der Verbindung von Schiff und Maschine erschwert wird, und das bedingt, daß jede Schiffsmaschine ein Kompromiß zwischen widerstrebenden Forderungen darstellt.

Abbildung 82. Deutscher Panzerkreuzer „Moltke", gebaut 1910 von Blohm & Voß in Hamburg. 186 m lang, 29,5 m breit, 8,2 m Tiefgang, 23000 t Deplacement, 28 Knoten Geschwindigkeit. Zum Antrieb dienen Parsonsturbinen von 85000 P.S.

Die Aufgabe des Schiffbauers besteht darin, für einen gegebenen Zweck ein Schiff von bestimmter Tragfähigkeit und Geschwindigkeit (bzw. beim Kriegsschiff von bestimmtem Gefechtswert und vorgeschriebener Geschwindigkeit) zu konstruieren, dessen Bau- und Betriebskosten ein Minimum sind. Dadurch sind Schiffsform (Typ) und Schiffsgröße (Deplacement) festgelegt, damit aber auch für die motorische Anlage ein bestimmt begrenzter Raum und ein nicht zu überschreitendes Maximalgewicht gegeben. Jedes Mehrgewicht veranlaßt ein Tiefereintauchen des Schiffskörpers und damit einen erhöhten Widerstand gegen die Fahrt, der nur wieder durch eine Verstärkung der Maschinenanlage wettgemacht werden kann. Die Maschinenleistung wächst angenähert mit der dritten Potenz der Geschwindigkeit, d. h. die doppelte Geschwindigkeit verlangt die achtfache Maschinenstärke; diese viel größere Maschine erfordert aber wieder mehr Platz und Gewicht, und so ergibt sich aus dieser Überlegung ganz allgemein die Tatsache, daß die größere Geschwindigkeit das größere Schiff verlangt.

Während im Landmaschinenbau für eine Erhöhung der Leistung eine Vergrößerung des für die Anlage notwendigen Platzes fast immer zur Verfügung steht, sieht sich der Schiffsmaschinenbauer nur zu häufig in die Zwangslage versetzt, in einem nur unerheblich größeren Raum eine Maschine von bedeutend größerer Leistung unterzubringen. Besonders strenge Forderungen stellt in dieser Hinsicht der Kriegsschiffbau, bei dem der für die Maschinenanlage* disponible Raum in Grundfläche und Höhe äußerst knapp bemessen ist, und das zulässige Maschinengewicht durch die Anforderungen der Artillerie, des Panzers und der hohen Geschwindigkeit auf ein äußerst geringes Maß heruntergeschraubt wird. So beträgt das Gewicht der dampfklaren, d. h. betriebsbereiten Kolbenmaschinenanlage eines großen Frachtdampfers rund 230 kg für jede indizierte Pferdestärke, während diese Zahl auf nahezu 20 kg bei modernen Turbinentorpedobooten sinkt.

Wenn auch die Raum- und Gewichtsfrage für die Schiffsmaschine von größter

* Unter Maschinenanlage soll stets der ganze motorische Komplex, also Kolbendampfmaschinen oder Dampfturbinen mit Kesseln, Rohrleitung, Wellen und Propellern, bzw. Verbrennungsmaschinen mit allen Hilfseinrichtungen, Wellen und Propellern verstanden sein.

Bedeutung ist, so bildet sie doch nicht das einzige bei der Konstruktion zu berücksichtigende Moment, es spielen vielmehr, wenn man von den Sportfahrzeugen absieht, die Wirtschaftlichkeit, die „Ökonomie" der Maschine und die Betriebssicherheit eine Hauptrolle bei Bewertung der Anlage.

Für die Wirtschaftlichkeit sind bestimmend Anlage-, Betriebs- und Unterhaltungskosten. Bei demselben Schiffs- und Maschinentyp kann man die Anlagekosten innerhalb ziemlich weiter Grenzen proportional mit der Maschinenleistung sich ändernd, d. h. den Preis für die Leistungseinheit, die Pferdestärke, nahezu konstant annehmen. Verschieden ist er jedoch bei verschiedenen Typen, z. B. bei einer Kriegsschiffsmaschine gegenüber einer Handelsschiffsmaschine. Bei jener ist nur durch Anwendung hochwertiger, also teurer Materialien, durch weitgehende Verfeinerung der Detailkonstruktion, die umständliche Bearbeitung erfordert, eine leichte Maschinenanlage zu erreichen, und was sich in einer niedrigen Gewichtszahl zu erkennen gibt, erscheint umgekehrt wieder als höhere Baukosten für die Gewichtseinheit. Beim Handelsschiff steht in den allermeisten Fällen viel mehr Raum für eine reichlicher dimensionierte und infolgedessen auch schwerere Maschinenanlage zur Verfügung; die Gewichte brauchen nicht so peinlich bemessen zu werden, wohl aber müssen alle jene Momente besondere Beachtung erfahren, die geeignet sind, den Maschinenpreis herabzusetzen, eine billigere und im Betrieb ökonomischere Maschine zu erhalten. Deswegen wird hier die Verwendung von teurem Stahlguß, Spezialstahl und Bronze auf ein Mindestmaß einzuschränken sein, hingegen Gußeisen und gewöhnlicher Flußstahl reichlicher verwandt werden. Durch diese Materialien geringerer Festigkeit ergeben sich aber von selbst stärkere Dimensionen der Maschinenteile und damit größere Gewichte; kostspielige Bearbeitungsmethoden, um Gewichtserleichterung zu erreichen, sind hier vermieden, hingegen die bequemere Zugänglichkeit, die längere Lebensdauer der Maschine betont, und damit der Typ der Handelsschiffsmaschine geschaffen, der den strikten Gegensatz zur Kriegsschiffsmaschine bildet: das Arbeitspferd im Gegensatz zum Rennpferd!

So stellt sich z. B. das Gewicht der Pferdestärke für einen größeren Fracht- und Passagierdampfer auf etwa 200—225 kg, während der Preis des Kilogramms Maschinengewicht ca. 0,7 M. beträgt; bei einem turbinenangetriebenen Torpedoboot von ca. 14000 Wellenpferdestärken ist das Gewicht der P.S. 18—20 kg und das Kilogramm Maschine kostet 6 M. Freilich gibt es auch hier Zwischenstufen der Entwicklung, bei denen sich die sonst ziemlich scharfen Grenzen verwischen; so sind z. B. die Maschinen der schnellen Kanaldampfer für den Passagierdienst vom Kontinent nach England Handelsschiffsmaschinen mit allen charakteristischen Eigentümlichkeiten der Kriegsschiffsmaschinen, weil bei diesen verhältnismäßig kleinen und schnellen Dampfern die Gewichtsfrage der Maschinen- und Kesselanlage von fast ebensolcher Bedeutung ist wie beim Kriegsschiff und die Konstruktion entsprechend beeinflußt. Hier kommen auch häufig Wasserrohrkessel ihres geringen Gewichts wegen und forcierter Zug zur Anwendung, und die Gewichte nähern sich jenen der Kriegsschiffsmaschinen.

Am stärksten beeinflussen die Betriebskosten die Wirtschaftlichkeit der Maschine, und auch hierbei ist wieder zwischen jener ein gewinnbringendes Schiff antreibenden Handelsschiffsmaschine und der Kriegsschiffsmaschine zu unterscheiden, bei der die Erzielung einer Höchstleistung für die Maximalgeschwindigkeit den Hauptgesichtspunkt für die Dimensionierung der Anlage bildet.

Es läßt sich nun unschwer nachweisen, daß es für jedes Schiff eine bestimmte Geschwindigkeit geben muß, bei welcher der Gesamtbrennstoffverbrauch für eine

zurückzulegende Wegstrecke ein Minimum wird. Dieser Geschwindigkeit, die wir als „ökonomische" bezeichnen können, entspricht eine gewisse Maschinenleistung, die das Handelsschiff besitzen muß, wenn es seine Reise mit geringsten Betriebskosten ausführen soll.

Beim Kriegsschiff ist wegen der Gewichtsbeschränkung die Maschinenanlage so zu bemessen, daß sie unter äußerster Kraftentfaltung jene für die hohe Geschwindigkeit notwendigen Pferdestärken ergibt. Dies kann nur durch künstlichen (forcierten) Zug der Kesselanlage erreicht werden, wobei aber die Beanspruchung der Kesselrostfläche eine solche wird, daß von einem ökonomischen Arbeiten nicht mehr die Rede sein kann. Die auf dem Quadratmeter Rostfläche entwickelte Leistung ist zwar ein Maximum, aber die für 1 Pferdestärke verbrauchte Kohlenmenge vom Mindestwert sehr weit entfernt. Infolgedessen gibt es auch hier eine ökonomische Geschwindigkeit, wobei der Kohlenverbrauch für die zurückgelegte Seemeile ein Minimum, bzw. die mit einem bestimmten Kohlenvorrat zurückgelegte Wegstrecke ein Maximum wird. Man nennt diese Wegstrecke den Aktionsradius des Schiffes, und sagt z. B. von einem für den Auslandsdienst bestimmten Kreuzer, daß er einen Aktionsradius von 4000 Seemeilen habe, d. h. er kann, ohne neue Kohlen zu nehmen, eine Strecke von 4000 Seemeilen zurücklegen. Beim Kriegsschiff ergibt sich nun dadurch, daß die Anlage einmal die verlangte Maximalleistung mit dem geringsten Gewicht, das andere Mal wieder den größtmöglichen Aktionsradius ergeben soll, ein Widerspruch, der nur durch ein Kompromiß gelöst werden kann. Dieser Widerspruch kommt bei der Kolbendampfmaschine nicht so zur Geltung wie bei der Gasmaschine und der Dampfturbine, und es soll weiter unten davon die Rede sein, daß u. a. auch diese Eigenschaft der Turbine ihre Einführung in die Kriegsmarine sehr erschwerte.

Zu diesen Kosten des Energieträgers (Kohle, Rohöl) kommen aber noch andere, durch den Betrieb bedingte hinzu, nämlich jene für Schmierung und Wartung. Der Schmierölverbrauch einer Kolbenmaschine mit ihren vielen hundert umlaufenden, hin und her gehenden, äußeren und inneren Teilen, ist sehr bedeutend und kann dem Gewicht nach mit etwa 3/4—1 % des Kohlenverbrauchs angesetzt werden. In dieser Beziehung sind solche Motoren, bei denen es nur wenige Schmierstellen gibt, wie die Turbinen, im Vorteil, und was Wartung und Bedienung der Maschine anbelangt, so hat die Einführung der Dampfturbine, ganz besonders aber der Gasmaschine eine wesentliche Reduktion des Maschinenpersonals ermöglicht. Ein Hauptmoment für die steigende Anwendung der Gasmaschine in der Großschiffahrt liegt in der durch den Fortfall der gesamten Kesselanlage bedingten wesentlichen Ersparnis an Bedienungsmannschaft.

Endlich sind noch die für die Unterhaltung (Instandhaltung und Reparatur) der Maschinenanlage notwendigen Kosten in Betracht zu ziehen. Auch da tritt der charakteristische Unterschied für den Kriegs- und Handelsschiffstyp wieder in die Erscheinung, denn mit den hohen Tourenzahlen, also größeren lebendigen Kräften, und den hohen spezifischen Belastungen der sich bewegenden Teile der Kriegsschiffsmaschine kurzen Hubes ist eine viel größere Abnutzung verbunden, sie wird also im allgemeinen von kürzerer Lebensdauer als wie die langhubige, langsamlaufende Handelsschiffsmaschine gleicher Leistung; und wenn eine, dem Verfasser bekannte aus dem Jahre 1838 stammende langsamlaufende Räderschiffsmaschine noch vor wenigen Jahren ihren allerdings nicht sehr anstrengenden Dienst versah, so wird man solches von unseren modernen Dieselmotoren nach 70 Jahren nicht erwarten dürfen.

Bei Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Schiffsmaschinenanlage darf jedoch nicht allein die Maschine und ihr Verbrauch an Brennmaterial berücksichtigt werden, es muß vielmehr auch die Frage nach dem Wirkungsgrad des Propellers in Betracht gezogen werden, wovon jedoch erst weiter unten die Rede sein soll.

Außer der Wirtschaftlichkeit hat aber jede Schiffsmaschine noch eine andere Bedingung von größter Wichtigkeit zu erfüllen: ihre Konstruktion muß unter allen Umständen betriebssicher sein, wozu auch gehört, daß sie in jedem Augenblick die Eigenschaft der Manövrierfähigkeit besitzt.

Was den ersten Punkt anbelangt, so ist kein anderer Motor, auch nicht die Lokomotivmaschine solchen Beanspruchungen seiner Konstruktionsteile ausgesetzt wie gerade die Schiffsmaschine. Das Rollen des Schiffes bedingt zusätzliche Beanspruchungen des Maschinengestells, das Stampfen, d. h. die Bewegung um eine Querachse des Schiffes, wobei abwechselnd Bug und Heck aus dem Wasser treten und dann wieder eintauchen, veranlaßt ein plötzliches Austreten des Schraubenpropellers, das wieder ein Durchgehen der widerstandslos gewordenen Maschine zur Folge hat. Dieses Durchgehen ist im Hinblick auf die großen auf- und abgehenden Gestängegewichte, die Massendrücke wecken, äußerst gefährlich und kann zu solchen Katastrophen führen, wie jener des Schnelldampfers „City of Paris" (1890), dessen 10000 P.S.-Maschine vollständig in sich zusammenbrach. Diese zusätzlichen, von den Schiffsbewegungen herrührenden Beanspruchungen erscheinen um so gefährlicher, wenn man bedenkt, daß in den meisten Fällen, um an Gewicht zu sparen, die Materialbeanspruchungen bei einer Schiffsmaschine weit höher gewählt sind als es im Bau von Landmaschinen üblich ist.

Die Betriebssicherheit ist von so eminenter Bedeutung für die Schiffsmaschine, daß unter Umständen ihr gegenüber sogar die Wirtschaftlichkeit in den Hintergrund tritt und daß zwecks Erhöhung der Betriebssicherheit für die am leichtesten einer Havarie unterworfenen Teile, wie z. B. Kolbenstangen, Kurbelwellen, Exzenter, Propellerflügel u. a. stets Ersatzteile an Bord mitgeführt werden müssen, um die Auswechslung eines gebrochenen Stückes durch ein neues zu ermöglichen.

Die Frage der Betriebssicherheit betrifft auch die Unterbringung der Brennstoffe. In der ersten Zeit der Anwendung flüssiger Brennstoffe (Heizöl für Kessel) zeigten sich Schwierigkeiten bezüglich ihrer dichten, feuersicheren Aufbewahrung. Diese Schwierigkeiten sind heute überwunden und können deswegen der Einführung der Ölmotoren nicht mehr hindernd in den Weg treten, und selbst für die leichten Öle, wie Benzin, Petroleum usw. läßt sich durch geeignete Konstruktionen die Gefahr wesentlich einschränken.

Die Manövrierfähigkeit einer Schiffsmaschine ist für die Sicherheit des Betriebes von allergrößter Bedeutung; sie muß nicht nur ermöglichen, daß die Maschine aus jeder Stellung, in der sie stehengeblieben ist, sofort anspringt, daß sie schnell und sicher aus der einen Fahrtrichtung „vorwärts" in die andere Richtung „rückwärts" umsteuert, sie muß auch innerhalb weitester Grenzen eine Änderung der Tourenzahl für langsame, schnellere und volle Fahrt zulassen. Nur auf solche Weise ist es nämlich möglich, die Manöver eines Schiffes jederzeit sicher auszuführen; der Handelsdampfer, der in einen Hafen ein- oder aus einem solchen ausfährt, ebenso das im Geschwaderverband fahrende Kriegsschiff benötigen diese Eigenschaft ihrer Maschinen in hohem Maße. Diese Eigenschaft ist bei der Kolbenmaschine in vollkommenster, kaum zu überbietender Weise vorhanden. Die dazu notwendigen Einrichtungen sind einfach und sicher und, wenn umgesteuert, steht die Kolbenmaschine mit fast voller

Leistung für die Rückwärtsfahrt zur Verfügung, anderseits läßt sie durch Änderung der Zylinderfüllung eine äußerst feine Geschwindigkeitsabstufung von einigen wenigen Umdrehungen bis zur höchsten Tourenzahl zu. Anders die Dampfturbine und die Gasmaschine, bei denen diese Eigenschaften viel mangelhafter ausgebildet sind. Das mußte dazu führen, aus der Not eine Tugend zu machen und die Anforderungen an die neuen Motoren herabzuschrauben, um ihre Einführung in den Schiffsbetrieb nicht zu sehr zu erschweren oder gar zu verhindern.

Überblickt man das hier Gesagte, so würdigt man auch die Schwierigkeiten, die sich dem Konstrukteur einer Schiffsmaschine entgegenstellen und die in der Eigenart der Verbindung von Schiff und Maschine begründet liegen. Denn es ist, entgegen der Meinung von Nichtfachleuten, die Schiffsmaschine nicht eine ins Schiff gestellte, keine „schwimmende" Maschine, sie ist vielmehr mit dem Schiff und seinen Eigenschaften aufs innigste verknüpft, sie ist ein Teil des Schiffsindividuums. Es kann nun nicht Aufgabe des Maschinenkonstrukteurs sein, eine Lösung zu finden, die all den gestellten Anforderungen in gleichem Maße entspricht; das ist einfach unmöglich. Jede Schiffsmaschine kann nur ein Kompromiß darstellen, bei dem den verschiedenen, sich häufig entgegenstehenden Forderungen mehr oder weniger Rechnung getragen wird, und diejenige Konstruktion ist die beste, bei der die Vorteile überwiegen und die naturgemäß vorhandenen Nachteile in geschickter Weise in den Hintergrund gerückt sind. Wird die Frage der Wirtschaftlichkeit besonders betont, so kann die Forderung nach einem geringen Gewicht nur unvollkommen erfüllt werden, anderseits wird eine gesteigerte Ökonomie und ein hoher Wirkungsgrad der Maschinenanlage nicht mit einer sehr leichtgebauten schnellaufenden Maschine und hoch forcierten Kesseln erreicht werden können, und wo bei geringem Tiefgang des Schiffes (Flußschiffe) größere Leistungen gefordert werden, muß der Schraubenpropeller dem Schaufelrad weichen. Anderseits ist bei Verwendung hochtouriger Motoren, wie z. B. Turbinen, nur der Schraubenpropeller am Platz.

Diese Hauptforderungen: Gewicht, Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit bilden somit die Leitmotive, nach denen sich die Entwicklung der Schiffsmaschine im Laufe eines Jahrhunderts vollzogen hat, ein Werdegang, der fünf Abschnitte erkennen läßt. Diese sind gekennzeichnet durch:

1. die allmähliche Verdrängung des Schaufelrades durch den Schraubenpropeller aus der Ozeanschiffahrt in der Zeit von 1830—1865;
2. die Anwendung höherer Dampfdrücke und die damit verbundene mehrstufige Expansion (etwa 1860—1885);
3. das Auftreten der Torpedoboote nach 1870;
4. die Einführung der Dampfturbinen in den Schiffsbetrieb nach 1900, und endlich
5. in unseren Tagen die Verwendung der Verbrennungskraftmaschine zum Antrieb großer Seeschiffe.

Die ersten Schiffe hatten als Propeller, d. h. als Treibapparat, der die Arbeit der Maschine zwecks Fortbewegung des Schiffes auf das Wasser überträgt, das bekannte Schaufelrad, bis es Joseph Ressel 1829 gelang, den Schraubenpropeller, die Schiffsschraube, mit Erfolg anzuwenden. Die Patentliteratur enthält zwar schon lange vor Ressel die Idee der Schraubenfläche als Propeller, und in Amerika ist schon zu Beginn des 19. Jahrhunderts der Schraubenantrieb versucht worden; man kann aber — nach Kenntnis des gesamten Materials — doch erst von Ressels Versuch an die Einführung der Schraube datieren, weil er als erster jene Verbindung von Schiff und Schraube vorgeschlagen, ausgeführt und mit Erfolg erprobt hat, die im Prinzip heute

noch beibehalten ist: die Maschine treibt die Welle an, die durch ein Stevenrohr aus dem Schiffsinneren heraustritt; in einer Aussparung des Hinterschiffs sitzt auf dieser Welle die Schraube.

Von jenen Tagen an hat der Schraubenpropeller, dessen Anwendung in größerem Umfange von 1836 ab von den Engländern mit Erfolg durchgeführt wurde, immer größere Bedeutung erlangt, und hat schließlich aus der Seeschiffahrt das langsamlaufende Rad vollständig verdrängt. Die Kriegsmarinen hauptsächlich konnten sich nicht lange der Erkenntnis verschließen, daß der ganz unter Wasser befindliche Schraubenpropeller einen viel besseren Schutz genießt als das Rad, und führten ihn nach 1850 auf allen Schiffen ein; nach Mitte der sechziger Jahre, ziemlich gleichzeitig mit der Anwendung der mehrstufigen Expansion, ist er auch bei allen Ozeandampfern eingeführt gewesen. Nur dort, wo die geringe Tauchung des Schiffes die Anwendung eines Schraubenpropellers nicht zuläßt, muß noch das Rad beibehalten werden; das

Abbildung 83. Dampfer „Robert Fulton" der Hudson-River-Day-Line, gebaut 1909 von der New-York-Shipbuilding-Company. Größte Länge 106 m, größte Breite 23,2 m, Durchmesser der Seitenräder 9,4 m, maximale Geschwindigkeit 23 Knoten. Über dem obersten Deck, links von den Schornsteinen, ist der Balancier der Maschine zu sehen, der in größerem Maßstab in Abbildung 84 wiedergegeben ist.

ist der Fall bei allen Fluß- und Binnenseedampfern größerer Leistung. In Amerika, wo besondere Verhältnisse vorliegen, werden solche Anlagen bis zu 10000 P.S. für Küstenfahrer und für Schiffe auf den großen Seen (Abbildung 83) heute noch gebaut. Die hohen Deckaufbauten jener Dampfer gestatten dabei die Anwendung einer Maschinenart, die in Europa nie Eingang gefunden hat, aber typisch für Amerikas Flußdampfer ist, die sogenannte Balanciermaschine in einer Gesamthöhe bis zu 15 m mit einem das oberste Deck überragenden Balancier (Abbildung 84). Die mit solchen Maschinen erreichten Schiffsgeschwindigkeiten betrugen schon in den fünfziger Jahren 20 Knoten, während zur gleichen Zeit die Geschwindigkeit der schnellsten Ozeandampfer 13 Knoten nicht überstieg.

Bis zur Einführung der Dampfturbine wurden die schnellen Kanaldampfer England—Kontinent meist durch Räderschiffsmaschinen (Abbildung 85) angetrieben.

Bis in die sechziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts arbeiteten die meisten Schiffsmaschinen mit der niedrigen Dampfspannung von 1 bis 1 1/2 Atmosphären; es waren sogenannte Niederdruckmaschinen. Die für den Reeder so überaus wichtige Frage der Wirtschaftlichkeit führte zur Anwendung höherer Drucke, damit aber auch

wieder zur Teilung der Dampfleistung auf zwei und mehr Zylinder. Die hohe Temperatur, die der Dampf hohen Drucks beim Eintritt in den Zylinder besitzt, veranlaßt Kondensationsverluste an den relativ kalten Zylinderwänden. Diese Verluste, die eine Verringerung der Wirtschaftlichkeit bedeuten, werden um so größer, je größer die Unterschiede zwischen Anfangs- und Endspannung des Dampfes sind, sie lassen sich anderseits dadurch verringern, wenn man den Dampf nicht in einem Zylinder völlig entspannt, vielmehr diese Druckdifferenz zwischen Anfangs- und Endspannung unterteilt, und den Dampf nacheinander, zuerst in einem Hochdruckzylinder vom Kesseldruck bis auf einen mittleren Druck expandieren läßt und ihn dann in einen zweiten, eventuell von dort in einen dritten schickt, wo die Expansion bis zur Endspannung (Kondensatorspannung) stattfindet. So wird das Druck- und damit auch das Temperaturgefälle geteilt, die Kondensationsverluste vermindert und die Wirtschaftlichkeit erhöht. Das Prinzip der Drucksteigerung ist für die Praxis erst

Abbildung 84. Deck eines amerikanischen Flußdampfers mit dem Balancier der Räderschiffsmaschine.

Abbildung 85. Dreifach-Expansions-Räderschiffsmaschine für die Kanaldampfer „Lord Warden", „Dover" und „Calais", gebaut 1896 von William Denny & Bs., Dumbarton. 4000 I.P.S., Schiffsgeschwindigkeit 19,5 Knoten.

durch die Einführung der stufenweisen Expansion brauchbar geworden. So gelangte man in der Handelsmarine Mitte der sechziger Jahre zu den Compound- oder Zweifach-Expansionsmaschinen, um 1880 zu den Dreifach-Expansionsmaschinen, die dann auch von den Kriegsmarinen allgemein angenommen wurden. Bis zur Einführung der Dampfturbine herrscht bei Leistungen über 500 P.S. die drei- und vierfache Expansion vor.

Anfang der siebziger Jahre, nachdem der Torpedo seine Brauchbarkeit bewiesen hatte, war von England die Anregung ausgegangen, kleine schnelle Boote zu bauen, denen die Aufgabe zufallen sollte, sich rasch dem feindlichen Schiff zu nähern und zu entfliehen, nachdem sie vorher den Torpedo abgeschossen hätten. Die solch kleinen Booten zu erteilende große Geschwindigkeit verlangte das Beschreiten eines neuen Wegs bei der Konstruktion der motorischen Anlage. Die Zylinderkessel mußten durch den Lokomotivkessel ersetzt werden, der bei künstlichem, durch Ventilationsmaschinen erzeugten Zug weit größere Leistungen ergab, und die Maschine konnte nur dadurch in ihrem Gewicht verringert werden, daß man sie mit einer bis dahin unbekannt hohen Tourenzahl laufen ließ. Diese in Verbindung mit dem hohen Druck bedingt ein bedeutendes Verringern der Dimensionen und ein wesentliches Herabmindern des Gewichts. Die Abbildung 86 zeigt diesen Unterschied sehr deutlich. Dieses Prinzip hohen Drucks und hoher Tourenzahl (richtiger: hoher Kolbengeschwindigkeit) ist dann im gesamten Kriegsschiffbau beibehalten worden. Abbildung 87 zeigt die beiden Maschinen für ein Torpedoboot der italienischen „Sirio"-Klasse, Abbildung 88 eine von den beiden 9500 P.S.-Maschinen des italienischen großen Kreuzers „San Giorgio" und Abbildung 89 die letzte Kolbenmaschine der deutschen

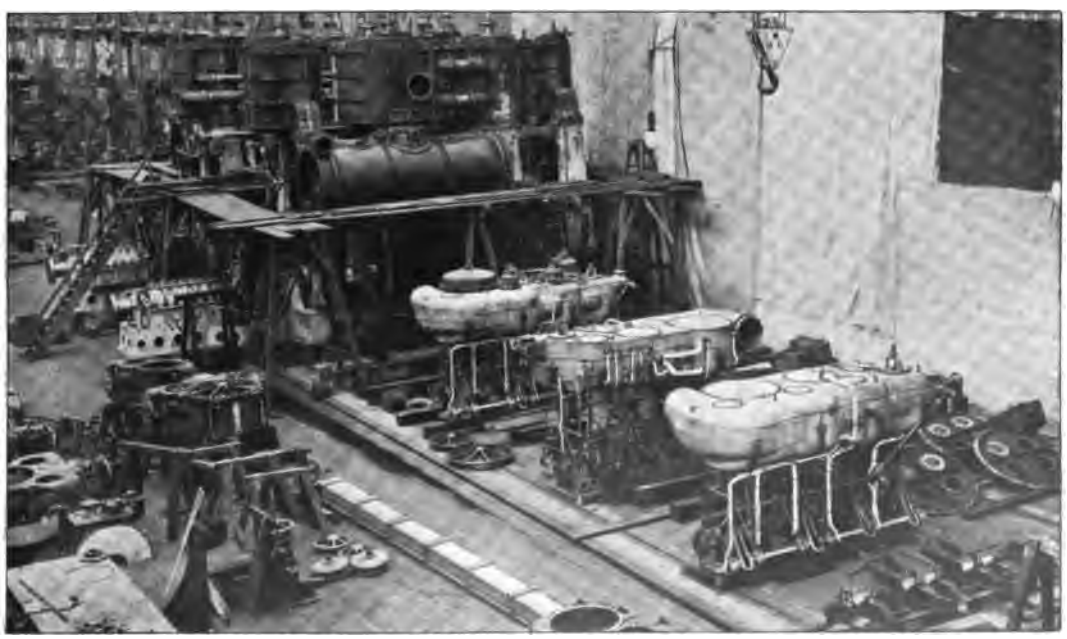


Abbildung 86. Schiffsmaschinen in Montage auf der Fried. Krupp A.-G. Germaniawerft, Kiel. Links sind die beiden Maschinen von je 3000 P.S. eines großen Passagierdampfers, rechts drei Torpedobootsmaschinen von je 3000 P.S. zu sehen. Erstere arbeiten mit 80 minutlichen Umdrehungen und 15 Atm. Dampfdruck, die Torpedobootsmaschinen mit 17 Atm. und 350 minutlichen Umdrehungen. Gewicht einer Handelsdampfermaschine 210 t, Gewicht einer Torpedobootsmaschine 16,4 t. Die von den Maschinen beanspruchten Grundflächen verhalten sich wie 79 qm : 6,5 qm, die Höhen wie 7,1 m : 2,6 m. Die Materialbeanspruchung in der Kurbelwelle der großen Maschine beträgt 210 kg/qcm, hingegen 490 kg/qcm bei der Torpedobootsmaschine.

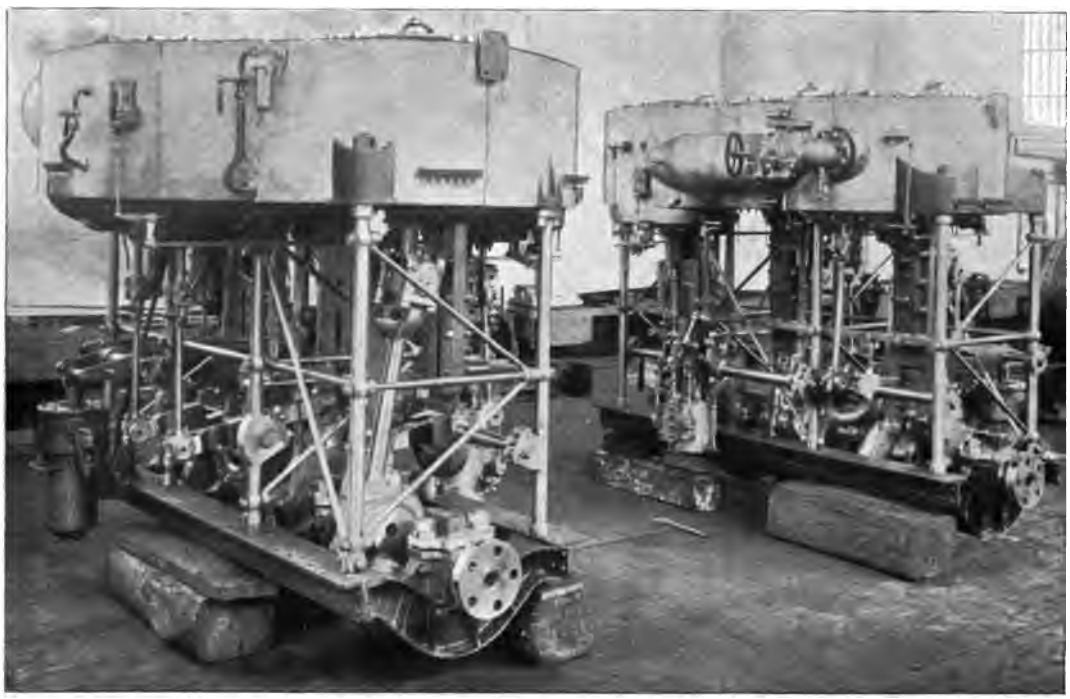


Abbildung 87. Maschinen des italienischen Torpedoboots „Sirio", gebaut 1905 von F. Schichau, Elbing. Leistung 2 × 1600 I. P. S., 400 minutliche Umdrehungen. Geschwindigkeit 25 Knoten.

Kriegsflotte, eine von den drei Maschinen des Linienschiffs „Oldenburg". Die Abbildungen 90 und 91 stellen Typen der Drei- und Vierfach-Expansionsmaschinen dar, wie sie bei Handelsdampfern Verwendung finden.

Der Kohlenverbrauch solcher mit 14—15 Atm. Kesselspannung arbeitenden Maschinen beträgt rund 0,7 kg, bei künstlichem Zug mit vorgewärmtem Unterwind etwa 0,6 kg für die Pferdekraftstunde, gegenüber 1,4—1,6 kg bei den alten, mit 2 Atm. Überdruck betriebenen Niederdruckmaschinen.

KESSEL. Den zum Betriebe notwendigen Dampf lieferten in der ersten Zeit Kessel, die man wegen ihrer kasten- oder kofferartigen Form mit dem Namen Kofferkessel bezeichnete. Diese Form der von flachen Wänden begrenzten Kessel war bei den damals herrschenden geringen Dampfdrucken brauchbar; man arbeitete mit 1/2 Atm. Überdruck, und bis in die sechziger Jahre hinein stieg der Dampfdruck nur auf 1—1 1/2 Atm. Sobald sich jedoch mit der Einführung der Zwei- und Mehrfachexpansion die Kesselspannung auf 5, 8, 10, zuletzt auf 12 und 15 und sogar auf 20 Atm. erhöhte, war die Verwendung solcher flachwandigen Kessel ausgeschlossen und der Übergang zum zylindrischen Kessel eine Notwendigkeit, der zufolge seiner kreisrunden Form imstande ist, hohe Drucke ohne Gefahr auszuhalten und zufolge seiner Konstruktion auch noch eine sehr ökonomische Ausnutzung der auf dem Rost erzeugten Wärme ergibt. Abbildung 92 zeigt einen solchen Zylinderkessel größter Ausführung im Schnitt; A ist der Kesselmantel, B die Böden, C die aus Festigkeitsgründen als Well- oder Rippenrohre hergestellten Flammrohre, D die Umkehrkammern, aus denen die vom Rost aufsteigenden Feuergase in die Siede- und Heizrohrbündel F—F ziehen; von dort gehen sie in den Rauchfang und Schornstein, deren Gesamtanordnung für einen größeren Fracht- und Passagierdampfer aus Abbildung 93 zu entnehmen ist.

Der Mantel eines solchen Zylinderkessels von 15 Atm. Überdruck und 5 m Durchmesser ist durch Bleche von 37 mm Stärke gebildet und wiegt bei einer Kessellänge von über 6 m rund 27 t, wenn man nicht teureren Spezialstahl von wesentlich höherer Festigkeit dabei anwenden will. Ein solches Gewicht ist bei einem Handelsdampfer wohl zulässig, nicht aber bei einem Kriegsschiff. Bei den immer höher geschraubten Forderungen nach geringem Gewicht der Maschinen und Kessel war man gezwungen, von den schweren Zylinderkesseln abzugehen und zuerst dem Lokomotivkessel, dann aber dem Wasserrohrkessel sich zuzuwenden, der heute in der Kriegsmarine Alleinherrscher geworden ist. Bei diesen Wasserrohrkesseln befindet sich das Wasser innerhalb der von den Heizgasen umspülten Rohre.

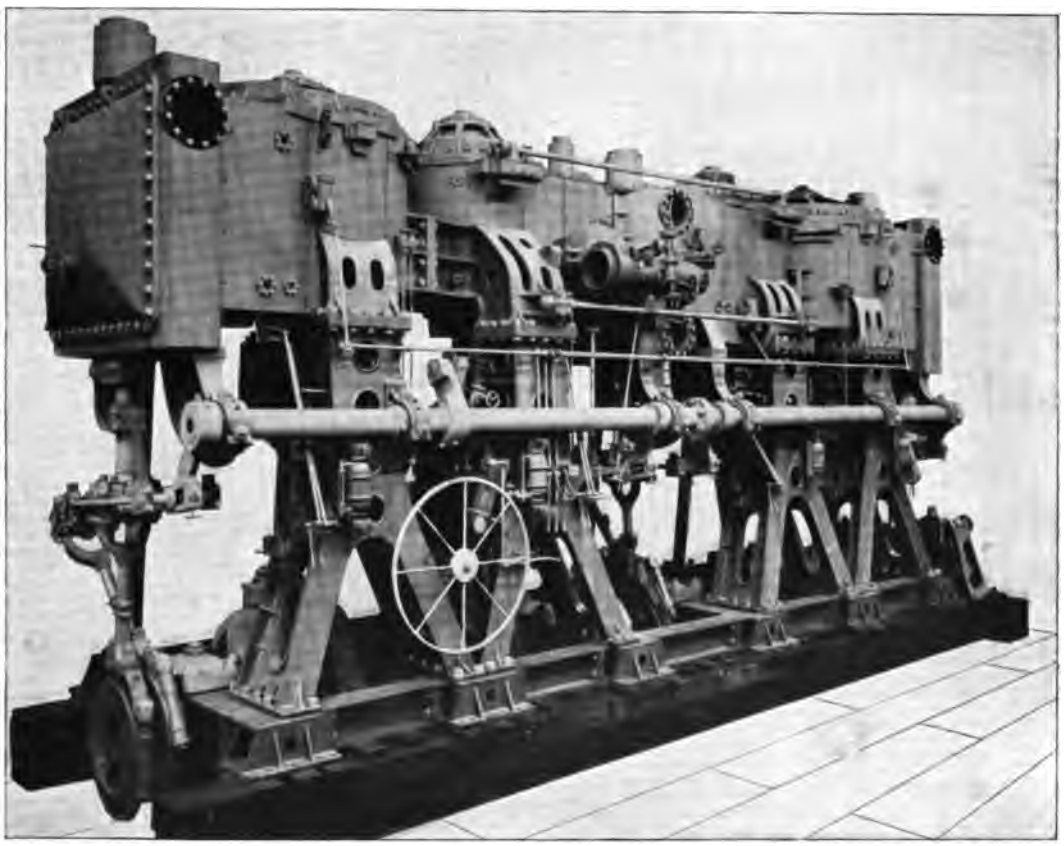


Abbildung 88. Maschine für den italienischen großen Kreuzer „San Giorgio", gebaut 1908 von der Società anonima italiana Gio. Ansaldo, Armstrong & Co. in Genua. Leistung bei 147 minutlichen Umdrehungen 9500 I.P.S. Geschwindigkeit 23 Knoten.

Solcher Wasserrohrkessel sind Hunderte erfunden, und Dutzende erprobt worden, schließlich hat man aber nur diejenigen Typen beibehalten, die den Anforderungen des forcierten Kesselbetriebes an Bord eines Kriegsschiffes dauernd standhalten können. Die Konstruktion muß, um eine schnelle Forcierung zu ermöglichen, die für den Zylinderkessel eines Handelsdampfers mit seinem wochenlang gleichbleibenden Betrieb gar nicht in Betracht kommt, genügend elastisch sein, um bei plötzlichem Dampfaufmachen keine Verspannungen des Kessels und dadurch Leckagen zu veranlassen.

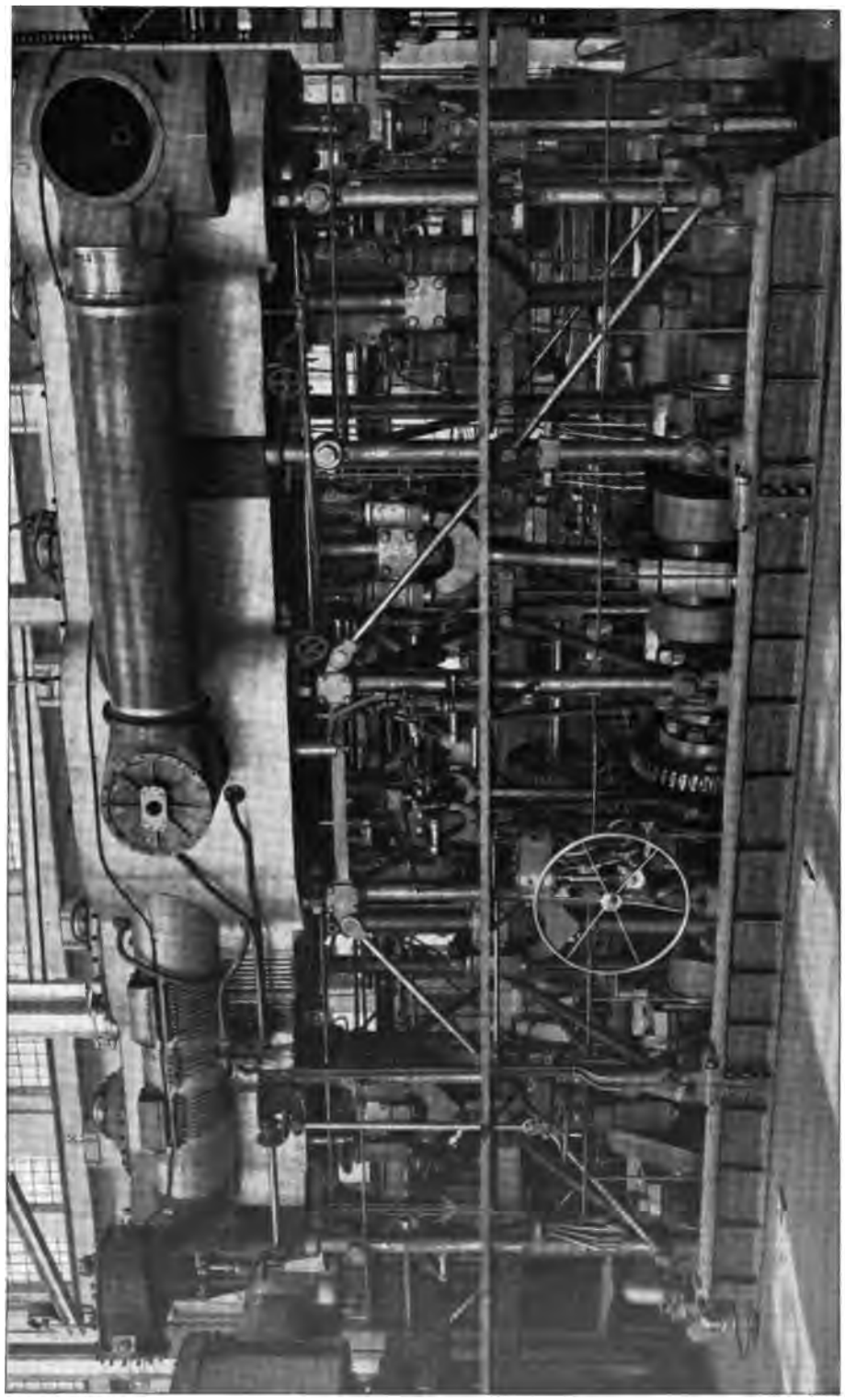


Abbildung 89. Eine von den drei Maschinen des deutschen Linienschiffs „Oldenburg", gebaut 1910 von F. Schichau in Elbing. Leistung 10000 L.P.S. Geschwindigkeit 21 Knoten.

Während also die Handelsmarine den in seiner Ökonomie kaum zu übertreffenden Zylinderkessel beibehalten und bei größten Anlagen seine Leistung durch Einführen des künstlichen Zuges und erwärmten Unterwindes in Form des Howdenschen Gebläses erhöht hat, haben sich die Marinen der Seegroßmächte für einige wenige Typen entschieden:

1. Der weit- und geradrohrige Typ der aus einzelnen Elementen zusammengesetzten Kessel: Belleville und Niclausse, hauptsächlich bei den Linienschiffen und Kreuzern der französischen Marine in Anwendung.

2. Der weit- und geradrohrige Typ des Babcock-Wilcox-Kessels, der bei den englischen und amerikanischen Linienschiffen Verwendung findet. (Abbildung 94.)

3. Der eng- und geradrohrige Typ der Yarrow-, White- und ähnlichen Kessel, der in alle Arten Kriegsschiffe eingebaut wird. (Abbildung 95.)

4. Die aus dem englischen Thornycroft- und dem französischen Du Temple-Kessel entstandenen eng- und krummrohrigen Kesselsysteme, die unter dem Namen Normand, Thornycroft-Schulz, Schichau u. a. für Torpedoboote, Kreuzer, aber auch für Linienschiffe angewandt werden.

Deutschland hat als einzige Seemacht für alle seine Schiffe einen Einheitstyp, den „Marinekessel" (Abbildung 96), der sich in größten und kleinsten Ausführungen sehr gut bewährt hat, bei geringster Empfindlichkeit gegen das Forcieren rasches Dampfaufmachen gestattet und zufolge seiner kleinen gekrümmten Rohre (36 mm Durchmesser, 3 mm Wandstärke) eine sehr große Heizfläche mit geringem Gewicht auf kleinem Raum verbindet. Die vom Rost aufsteigenden Gase nehmen einen Schlangenweg durch die Rohrbündel, die an einzelnen Stellen dichte Wände bilden, und kommen somit gut ausgenutzt mit einer geringen Temperatur in den Schornstein.

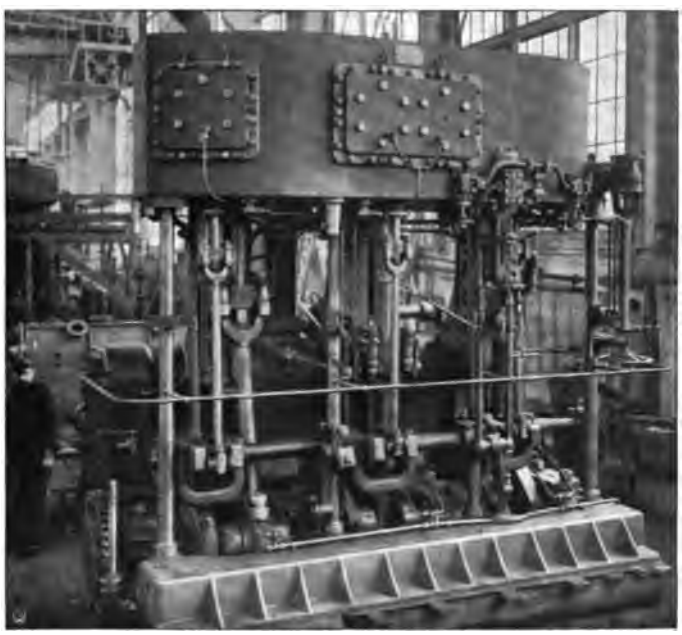


Abbildung 90. Maschine von 650 P.S. für den Handelsdampfer „Fryken", gebaut 1904 von F. Schichau, Elbing.

Die Forcierung dieser Kessel erfolgt entweder dadurch, daß man z. B. beim Yarrowkessel mittelst Ventilationsmaschinen die vorgewärmte Luft durch geschlossene Kanäle unter den Rost drückt oder, wie es z. B. in der deutschen Marine geschieht, diese Druckluft in den allseitig geschlossenen Heizraum preßt; so läßt es sich erreichen, daß die mit einer Windpressung von etwa 150 mm Wassersäule auf dem Quadratmeter Rost stündlich verbrannte Kohlenmenge bis zu 400 kg betragen kann, während der Zylinderkessel eines normalen Frachtdampfers, der mit natürlichem Zug betrieben wird, etwa 90 kg Kohle auf dem Quadratmeter der Rostfläche verbrennt, und daß ein solcher Wasserrohrkessel pro Quadratmeter Heizfläche nur 70—90 kg wiegt gegenüber 270 kg eines Zylinder-

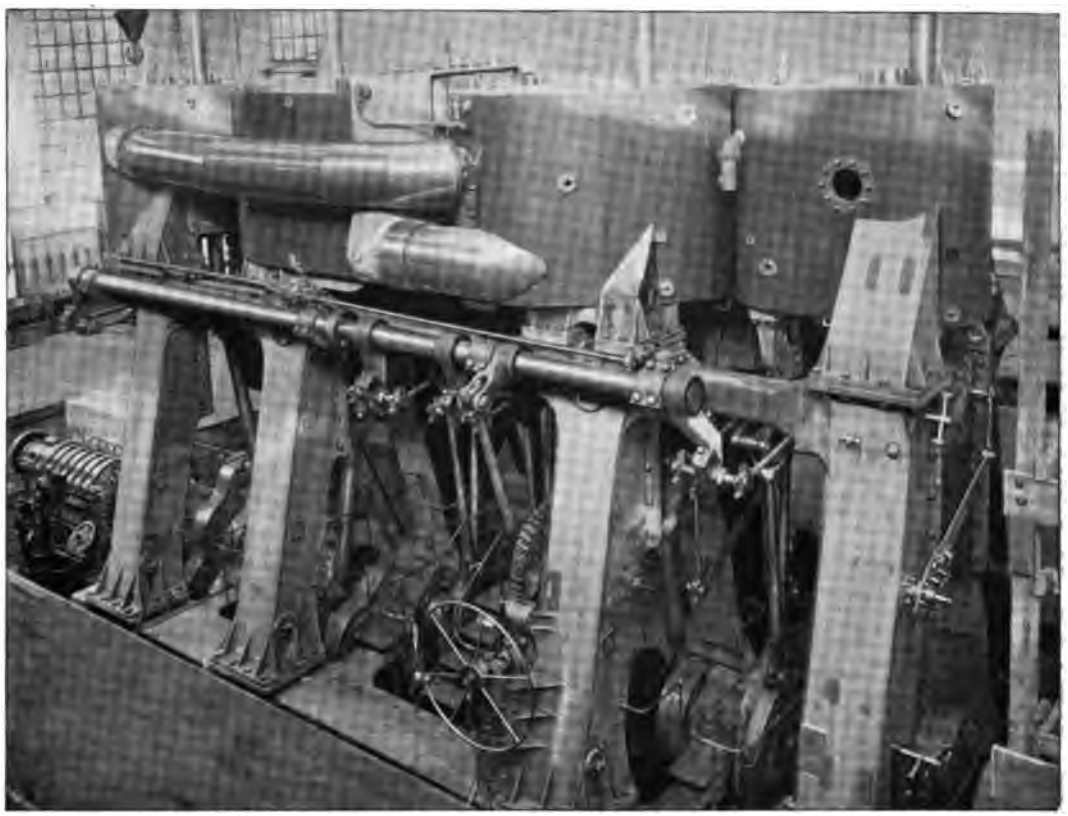


Abbildung 91. Eine von den beiden Maschinen des Fracht- und Passagierdampfers „Cincinnati" der Hamburg-Amerika-Linie, gebaut 1908 von F. Schichau, Elbing. Leistung 5000 I. P. S.

kessels. Auf solche Weise lassen sich auf See Leistungen von 100000 P. S. erzwingen, die z. B. für die 29 Knoten Geschwindigkeit eines 27000-t-Kreuzers notwendig sind.

Für die Unterbringung des Brennstoffs steht an Bord ein bestimmt begrenzter Raum zur Verfügung, der Bunkerinhalt des Schiffes. Man kann nun eine Vergrößerung des Aktionsradius (und das bedingt bei Kriegsschiffen eine Erhöhung des Gefechtswerts) dadurch erreichen, daß man einen Heizstoff verwendet, der einerseits einen höheren Heizwert (d. h. pro Kilogramm verbrannten Brennstoffs erzeugte Wärmemenge) hat, anderseits den Raum besser ausfüllt. Beide Bedingungen erfüllt das Heizöl, dessen Heizwert etwa 30 % höher und dessen Raumgewicht ca. 10 % größer als das der Kohle ist.

Die natürlichen Erdöle, ebenso die bei der Destillation von Steinkohlen- und Braunkohlenteer gewonnenen Öle sind solche Brennstoffe. Die Einführung des Heizöls in die Schiffahrt wurde einerseits dadurch aufgehalten, daß man Schwierigkeiten hatte, die großen Vorräte von einigen tausend Tonnen dicht und feuersicher unterzubringen, anderseits fehlte es an einer geeigneten Vorrichtung, um große Ölmengen vollkommen zu verbrennen. Beide Fragen sind heute gelöst, und die Folge ist, daß die meisten Kriegsmarinen zur Ölfeuerung übergegangen sind. Einige verwenden sie bei einzelnen Schiffstypen noch gemischt mit der Kohlenfeuerung, hingegen als reine Ölfeuerung bei Torpedobooten und Zerstörern. Abbildung 97 zeigt einen Wasserrohrkessel mit gemischter Feuerung.

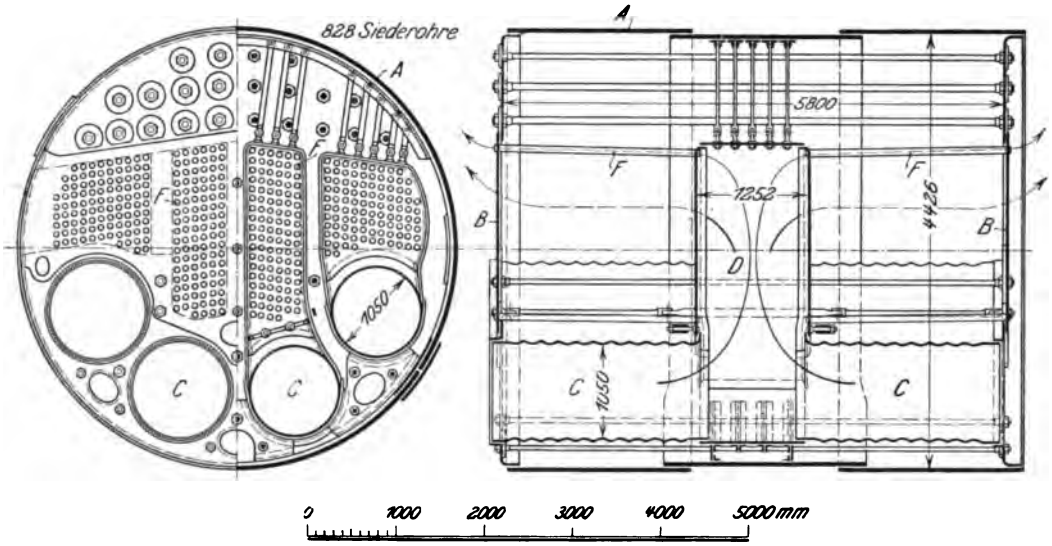


Abbildung 92. Zylinderkessel von 514 qm Heizfläche und 15,5 Atm. Betriebsdruck. A Kesselmantel, B Kesselböden, C Flammrohre, D Umkehrkammern, F Siederohre. Die Pfeile deuten den Weg der vom Rost aufsteigenden Feuergase an.

Die schwierige Beschaffung des Öls ist für manche Marine ein Hauptnachteil dieser Heizmethode; sie ist im Kriegsfall nur dann von Wert, wenn das Land selbst ölproduzierend ist; deswegen ist z. B. Deutschland gezwungen, künstliche Öle zu verwenden, aber in fast unerschöpflichen Mengen ist das natürliche Erdöl in Rußland, Österreich und den Vereinigten Staaten vorhanden.

Allerdings ist die Angelegenheit der Ölfeuerung für Schiffskessel dadurch in den Hintergrund des Interesses gerückt worden, daß man in den Ölmotoren geeignete Maschinen gefunden hat, um auf noch ökonomischere Weise den Heizwert des Brennstoffs in mechanische Arbeit umzuwandeln. Es ist nämlich zu bedenken, daß trotz der Vervollkommnung unserer Dampfmotoren, die auf einem Höchstpunkt ihrer Entwicklung angekommen scheinen, der Gesamtwirkungsgrad einer Schiffsdampfmaschine günstigstenfalls doch nur 14% beträgt, d. h. von der Wärmemenge, die in der auf dem Rost verbrannten Kohle bzw. dem Heizöl enthalten ist, wird nur etwa 1/7 als Nutzarbeit

Abbildung 93. Kessel mit Rauchfängen und Schornsteinunterteil für einen großen Fracht- und Passagierdampfer, gebaut von Joh. C. Tecklenborg, Geestemünde.

zum Antrieb des Schiffes verwandt, die übrigen 6/7 sind verloren. Zum Teil liegt das in der Unvollkommenheit der Kessel- und Maschinenanlage und im Propeller, zum großen Teil aber auch in den physikalischen Eigenschaften des Wasserdampfes begründet. Durch Vermeidung der Kesselanlage läßt sich der Gesamtwirkungsgrad sofort wesentlich verbessern, und darin liegt die große Überlegenheit der Ölmaschine, die ihr täglich neuen Boden im Schiffbau gewinnt; und wenn auch Nachteile vorhanden sind, auf die weiter unten näher eingegangen werden soll, so scheint es doch, als ob die vehemente Entwicklung der Schiffsdampfturbine nur das letzte Aufflackern des sterbenden Dampfmotors sei.

Abbildung 94. Babcock-Wilcox-Kessel für ein Kriegsschiff.

Außer der schon genannten Vergrößerung des Aktionsradius besitzt die Ölfeuerung auch noch andere Vorzüge, die für den Schiffsbetrieb von Bedeutung sind.

1. Das Anbordnehmen des Öls ist durch Pumpen leicht zu bewerkstelligen; in drei Stunden lassen sich 1500 t bequem in die Bunker füllen.

2. Die Bedienung der Feuer ist eine leichte, geradezu ideal zu nennende, und damit entfällt auch ein Teil des Heizerpersonals.

3. Die Verbrennung ist so gut wie rauchfrei.

Dem entgegen stehen jedoch:

1. Der hohe Ölpreis.

2. Die Schwierigkeiten der Beschaffung des Öls im Auslande, obwohl dem durch Einrichtung von Ölstationen auf den Welthandelsrouten, wie es ja verschiedentlich auch schon geschehen ist, abzuhelfen wäre.

3. Die immerhin größere Feuergefährlichkeit gegenüber Kohle.

SCHIFFSVIBRATIONEN. Die gesteigerten Anforderungen im Passagier- und Frachtverkehr auf See, insbesondere im atlantischen Dienst, führten zu immer größeren Maschinenanlagen und schließlich zu Leistungen von 45000 P. S. Abbildung 98

zeigt eine von den beiden Maschinen des Norddeutschen-Lloyd-Schnelldampfers „Kaiser Wilhelm II.", die der Stettiner Vulcan im Jahre 1903 erbaut hat. Sie stellen das Vollkommenste dar, was der Schiffsmaschinenbau jener Zeit leisten konnte, und sind gleichzeitig die größten Kolbendampfmaschinen der Welt. Zwei solcher Maschinen stehen im Schiff, 8 Zylinder arbeiten auf 6 Kurbeln und leisten bei 80 Umdrehungen und einem Dampfdruck von 15 Atm. in den Kesseln je 22500 P. S. Die Maschinenhöhe beträgt ca. 12 m, die Länge jeder Wellenleitung 71 m, der Durchmesser der Schraubenwelle 645 mm, der Durchmesser des Schraubenpropellers 7 m. Das Schiff lief 23,5 Knoten (44 km in der Stunde), und damit hielt Deutschland durch mehrere Jahre den Rekord, das „blaue Band des Ozeans".

Abbildung 95. Drei Wasserrohrkessel vom Yarrowtyp für chilenische Kriegsschiffe.

Der Übergang von der dreizylindrigen (-kurbeligen) zur vier- und mehrzylindrigen (-kurbeligen) Maschine war jedoch nicht allein durch die vermehrte Zylinderzahl aus ökonomischen Gründen erforderlich, es kam vielmehr noch ein Moment hinzu, das, solange man es mit verhältnismäßig kleinen Leistungen zu tun hatte, nicht so stark in die Erscheinung getreten war. Anfangs der neunziger Jahre ward die Frage nach Vermeidung der Schiffsvibrationen aufgeworfen, als die damals größten Schnelldampfer der Cunard-Linie, „Campania" und „Lucania", ihre ersten Ozeanfahrten machten; zu derselben Zeit beobachtete auch der englische Schiffbauer Yarrow diese Vibrationen an seinen Torpedobooten, bei denen in einen sehr leichten Schiffskörper Maschinen hoher Leistung eingebaut waren. Das in England, Deutschland und Amerika aufgegriffene theoretische und praktische Studium dieser Frage führte zu Resultaten, die es heute ermöglichen, nahezu vollkommene Vibrationslosigkeit eines Dampfers zu sichern.

Wie jede Eisenkonstruktion, z. B. ein Träger oder eine Brücke, so ist auch ein Schiff elastisch, d. h. es kann unter dem Einfluß von genügend großen äußeren Kräften

Durchbiegungen annehmen und auf solche Weise in Schwingungen geraten, die denselben Gesetzen folgen wie die Schwingungen einer gespannten Saite. Diese verhältnismäßig großen Schwingungen sind nicht zu verwechseln mit den örtlichen Vibrationen des Schiffskörpers, wie sie, von verschiedenen Ursachen herrührend, bei der Fahrt eines Schiffes, z. B. als Erzittern des Decks, beobachtet werden können. Solche Schwingungen können so auftreten, daß dabei zwei Stellen des vom Wasser getragenen Schiffes Ruhepunkte (Knotenpunkte) darstellen (Abbildung 99), zwischen denen sich ein Schwingungsbauch ausbildet; es kann sich aber auch eine Schwingung in der Art von Abbildung 100 einstellen, wobei das Schiff an drei Stellen Ruhe, an zwei Stellen größte Ausschläge zeigt. Jeder solchen Schwingungsform eines Schiffes entspricht eine bestimmte Schwingungszahl in der Minute, die von Schlick bei Schnelldampfern mit etwa 80, bei großen Torpedobooten mit etwa 300 ermittelt wurde.

Abbildung 96. Wasserrohrkessel für die deutsche Kriegsmarine. Der Pfeil gibt den Weg an, den die vom Rost aufsteigenden Feuergase durch das Rohrbündel nehmen.

Die Ursache solcher Durchbiegungen und damit der Schiffsschwingungen liegt im Gang der Kolbenmaschine. Dadurch, daß die Gestänge (Kolben, Kreuzkopf und Pleuelstange) abwechselnd Auf- und Abwärtsbewegungen ausführen, treten Schwerpunktsverschiebungen in der Maschine auf, die Kräfte — Massenkräfte — hervorrufen und auf die Eisenkonstruktion des Schiffes hammerartig einwirken; sie suchen einmal beim Aufwärtsgang des Kolbens die Maschine aufs Fundament zu drücken, beim nächsten Abwärtsgang sie vom Fundament loszureißen.

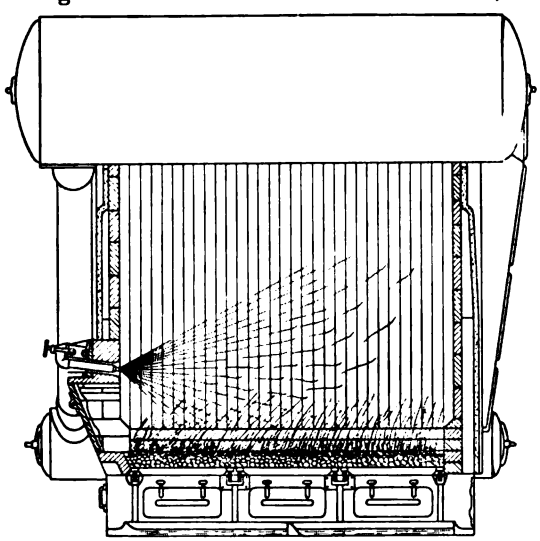


Abbildung 97. Wasserrohrkessel mit gemischter Feuerung (Heizöl und Kohle).

Um eine schwere Glocke zu läuten oder eine Schaukel in immer größere Schwingungen zu versetzen, verfährt man bekanntlich so, daß man die Kraftimpulse im Takt der Schwingungen auftreten läßt. Durch diese Gleichzeitigkeit — Synchronismus — von Kraftimpuls und Schwingung verstärkt man die letzteren bis zu einem erreichbaren Maximum. Dieser Synchronismus ist beim fahrenden Schiff dann vorhanden, wenn die Maschine jene Tourenzahl annimmt, die der obengenannten Eigenschwingungszahl des Schiffes gleichkommt. Diese Schwingungen, die bei längerer mehrtägiger Dauer zu einer merkbaren Abspannung der

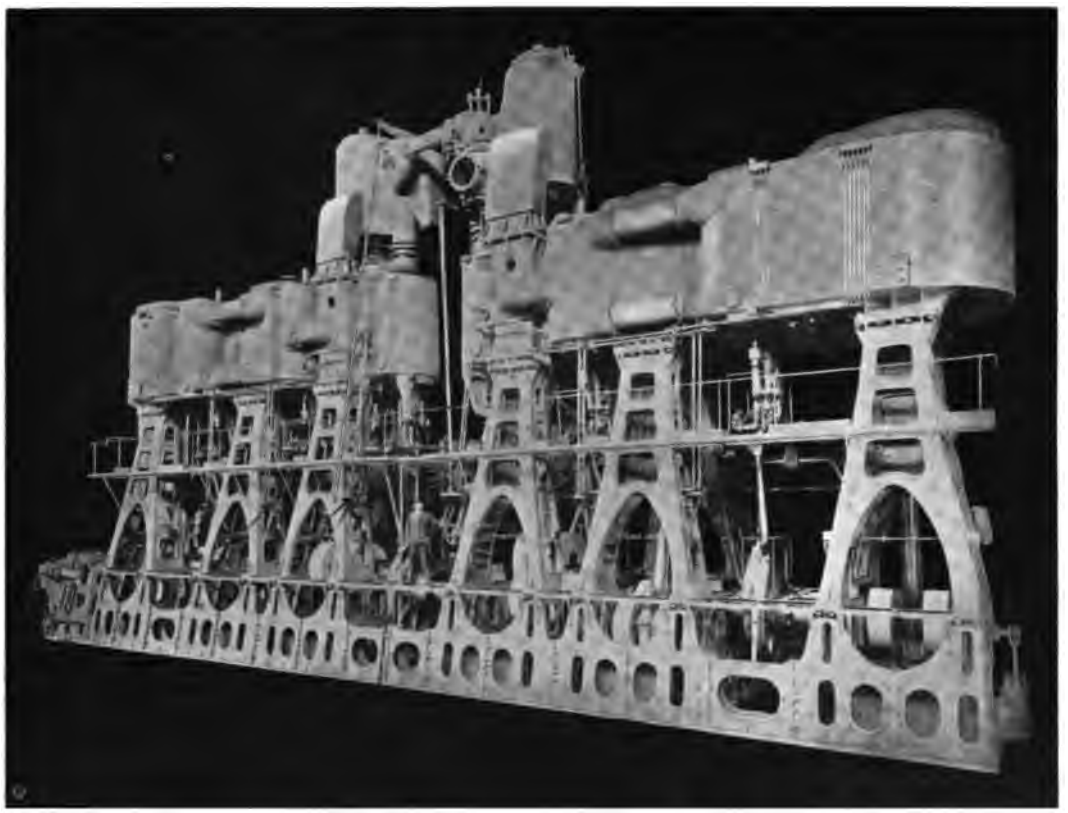


Abbildung 98. Achtzylindrige Vierfach-Expansionsmaschine von 22500 indizierten Pferdestärken mit Schlickschem Massenausgleich für den Schnelldampfer des Norddeutschen Lloyd „Kaiser Wilhelm II.", gebaut 1903 von der Stettiner Maschinenbau A.-G. „Vulcan", Stettin-Bredow.

Nerven von Passagieren und Mannschaft führen, bedeuten aber auch eine überflüssige und nicht unbedeutende Beanspruchung der Verbände des Schiffskörpers. Diese Vibrationen zeigten sich in bedenklicher Weise bei den kleinen Torpedobooten, wo Maschinen großer Leistung in leichte Schiffskörper eingebaut sind, aber auch bei den langen Schnelldampfern mit ihren enormen Maschinenleistungen.

Die Mittel, die von verschiedenen Fachleuten vorgeschlagen wurden, um diese Schwingungen zu vermeiden oder wenigstens zu vermindern, bestehen darin, daß man den Kurbeln einer mindestens vierkurbeligen Maschine eine solche Winkelstellung gegeneinander gibt, und anderseits bei gegebener Zylinderentfernung die Gewichte der an den einzelnen Kurbeln angreifenden Gestänge so bemißt, daß sich die vorhin genannten Massenkräfte gegenseitig aufheben, ausbalancieren; man gelangt auf solche Weise zu einer „ausbalancierten Maschine". Alle Schnelldampfer, die meisten großen Fracht- und Passagierdampfer nach 1893, aber auch eine Reihe von Kriegsschiffen haben solche Kolbenmaschinen erhalten.

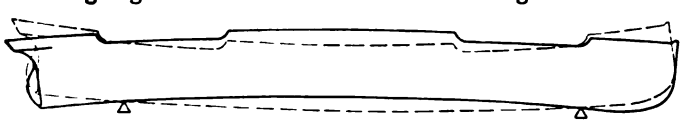


Abbildung 99. Schiffsschwingungen mit zwei Knotenpunkten.

Abbildung 100. Schiffsschwingungen mit drei Knotenpunkten.

Soweit Schiffsvibrationen von der Maschine herrühren, werden sie sich jedoch niemals ganz vermeiden lassen, solange man die bekannte hin- und hergehende Bewegung eines Kolbens benutzt, um eine Drehung der Welle zu bewirken. Erst dadurch, daß man einen Motor schafft, der kein Gestänge besitzt, an dem es vielmehr nur rotierende Teile gibt, kann man die absolute Ruhe des Maschinenganges erreichen. Dieser Motor ist die Dampfturbine.

2. DIE SCHIFFS-DAMPFTURBINE

Mangelhafte Kenntnis der Dampfwirkung und Unvollkommenheit der Fabrikationsmethoden haben bedingt, daß es erst dem letzten Dezennium im 19. Jahrhundert gelungen ist, eine brauchbare Dampfturbine zu schaffen, die sich sehr bald als stationärer Motor zum Antrieb von Dynamomaschinen einführte und von 1900 ab in dauerndem Siegeslauf den gesamten Kriegsschiffbau und einen nicht unbedeutenden Teil des Handelsschiffbaues für sich eroberte.

Ohne auf Erklärungen näher einzugehen, die im dritten Bande bereits gegeben sind, soll hier nur gesagt werden, daß die Turbine dem gegen ihre Schaufeln strömenden Dampfstrahl seine Geschwindigkeit, richtiger gesagt seine lebendige Kraft entzieht. Der aus dem feststehenden Turbinenteil, den Düsen oder Leitschaufeln, strömende Dampf hat eine sehr hohe Geschwindigkeit; da nun zwischen der Umfangsgeschwindigkeit des Turbinenrades und jener hohen Geschwindigkeit des Dampfstrahls ein bestimmtes Verhältnis bestehen muß, um eine günstige Ausnutzung der im strömenden Dampf enthaltenen Energie zu bewirken, so käme man zu Umfangsgeschwindigkeiten der Turbinenräder, die sich wegen der entstehenden Fliehkraft nicht mehr beherrschen lassen, und hauptsächlich, da die Schiffsturbine mit dem Schraubenpropeller direkt gekuppelt ist, eine sehr hohe Umdrehungszahl des Propellers erforderten. Das würde aber, wie weiter unten auseinandergesetzt wird, einen äußerst ungünstigen Wirkungsgrad des Schraubenpropellers bedingen. Die Möglichkeit, günstiger zu arbeiten, ergibt sich nun dadurch, daß man erstens Druckstufen anwendet, d. h. das ganze Druckgefälle vom Kessel bis zum Kondensator in mehrere

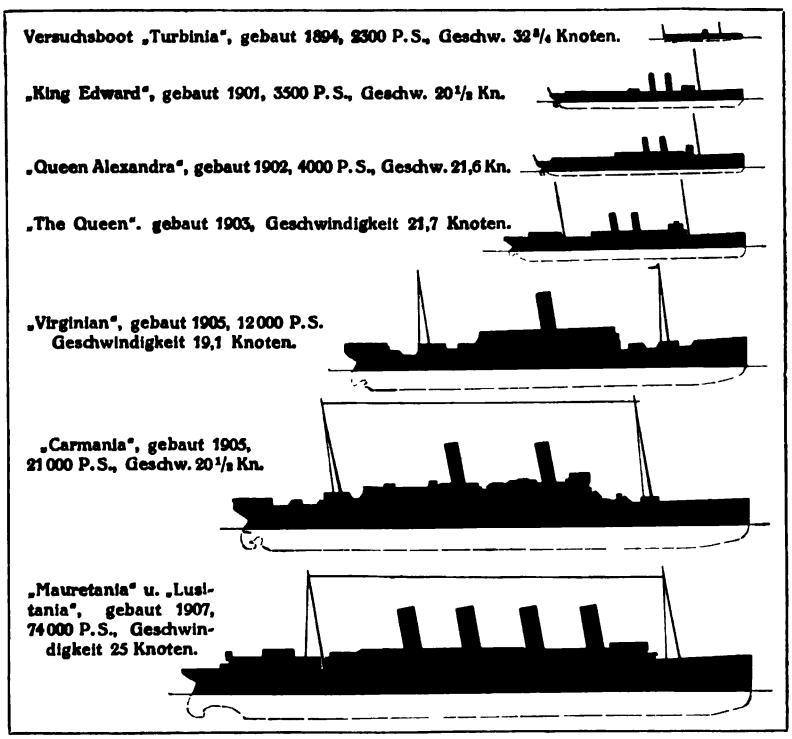
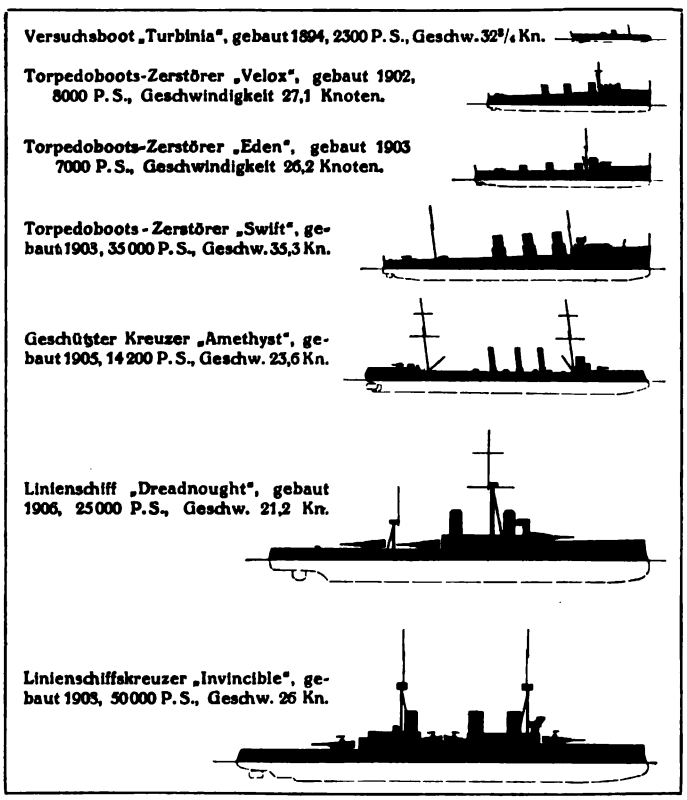


Abbildung 101. Entwicklung der Turbinenschiffe in der Handelsmarine.

Stufen teilt, auf solche Weise in den einzelnen Stufen kleinere Dampfgeschwindigkeiten, damit aber auch kleinere Umfangsgeschwindigkeiten der Räder erreicht, und zweitens, daß man in diesen Druckstufen selbst wieder Geschwindigkeitsstufen schafft und dem Rade einer Druckstufe mehrere Schaufelkränze gibt. Durch Anwendung von festen Umkehrschaufeln zwischen zwei Kränzen führt man den Dampf der Reihe nach auf den ersten, dann den zweiten, dritten, eventuell vierten Schaufelkranz, nutzt auf solche Weise die im Dampf enthaltene Energie viel vollkommener aus und gelangt so zu Turbinen, deren Umfangsgeschwindigkeit bzw. Tourenzahl so niedrig ist, daß sich eine immerhin noch günstige Schraubenpropellerwirkung erzielen läßt.



Abbild. 102. Entwicklung der Turbinenschiffe in der Kriegsmarine.

Zum Schiffsantrieb finden zwei Haupttypen Verwendung. Jene aus der amerikanischen Curtisturbine entstandene mehrstufige Druck-(Aktions-)Turbine mit mehreren Geschwindigkeitsstufen, aus der sich u. a. auch die A.-E.-G.-Vulcanturbine entwickelt hat, und dann die in erdrückender Mehrheit vorhandene Überdruck- (Reaktions-) Turbine von Parsons, eine englische Erfindung, bei der die einzelnen Stufen auf einer Trommel angeordnet sind. Daneben gibt es eine Reihe von Systemen, die zum Teil große Ähnlichkeit mit den genannten Ausführungen haben, zum Teil Übergänge darstellen, wie Zoelly, Rateau, Schichau, Bergmann u. a. Als Lichtmaschine für Bordzwecke zum Antrieb für Dynamos findet auch die hochtourige De-Laval-Turbine Verwendung. Von der Verwendung der Parsonsturbine als Schiffsmaschine geben die Abbildungen 101, 102 und 103 einen Begriff.

Das erste turbinenangetriebene Schiff war die „Turbinia", die Parsons 1894 zu Versuchszwecken baute. Die wichtigste Erkenntnis aus diesen langjährigen Versuchen war die Notwendigkeit einer Leistungsverteilung auf mehrere Wellen. Solange die „Turbinia" mit einer Propellerwelle fuhr und die gesamte Maschinenleistung sich auf diese eine Welle übertrug, war eine größere Geschwindigkeit als 19 Knoten nicht zu erreichen, weil die Erscheinung der Kavitation sich einstellte, die verursacht, daß der Wirkungsgrad des Propellers sofort bedeutend sinkt. Erst als Parsons die Stufenzahl seiner Turbine vermehrte, drei Schraubenwellen einbaute und die Turbine so teilte, daß je ein Hochdruck-, Mitteldruck- und Niederdruckteil auf eine Welle arbeitete, wurden die Leistungen und Tourenzahlen jeder der drei Einzelwellen kleiner und

die Arbeit der Schraubenpropeller günstiger. Während mit einer Welle 19 Knoten erreicht wurden, gaben drei Wellen bei derselben Gesamtmaschinenleistung 34 Knoten Geschwindigkeit.

Es brauchte aber doch einige Zeit, bis alle Vorurteile gegen den neuen Motor zurückgedrängt waren; das ist auch begreiflich, denn die Turbine fand die hochentwickelte, ökonomische Kolbenmaschine als mächtigen und bestbewährten Rivalen vor, und es war schwierig, die geäußerten Bedenken gegen den neuen Eindringling zu zerstreuen. Da war es vor allem der Vorwurf des schlechten Manövrierens, den man der Turbine machte. Es ist eine unerläßliche Bedingung, die jede Handels- und Kriegsschiffsmaschine erfüllen muß, daß sie sich jederzeit absolut sicher umsteuern läßt und dabei die größtmögliche Leistung entwickelt, um das Schiff aus voller Fahrt auf kürzester Strecke (Stoppstrecke) anzuhalten und dann rückwärtsfahren zu lassen. Es liegt im Wesen der Turbinenkonstruktion begründet, daß ihre Schaufeln nur für eine Bewegungsrichtung gebaut sein können; wollte man mit der gleichen oder nahezu gleichen Leistung rückwärtsfahren, so müßte man eine zweite, genau oder nahezu gleich große Turbine als Rückwärtsmaschine einbauen, was eine derartige Vergrößerung des Raumes und Gewichtes veranlassen würde, daß in den meisten Fällen die Anwendungsmöglichkeit der Turbine daran scheitern müßte. Die deutsche Marine hat mit zwei Schwesterschiffen, den kleinen Kreuzern „Lübeck" und „Hamburg", von denen „Lübeck" Turbinen, „Hamburg" Kolbenmaschinen besitzt, Vergleichsfahrten ausgeführt, um alle Eigenschaften des Turbinenapparates zu erproben. Dabei ergab sich für das Turbinenschiff eine Stoppstrecke von vier Schiffslängen gegenüber drei Längen beim Kolbenmaschinenschiff. Man vergrößerte dann, allerdings auf Kosten des Gewichtes, die Rückwärtsturbine, um kürzere Stoppstrecken, bessere Manövriereigenschaften zu erhalten, und baut sie heute so, wie es Abbildung 104 erkennen läßt. Diese Schnittzeichnung stellt die A.-E.-G.-Turbine eines Torpedobootes dar.

Eine zweite Eigenschaft der Turbine, die ihre Anwendung als Schiffsmaschine in der ersten Zeit hinderte, war ihre geringere Wirtschaftlichkeit bei kleineren Leistungen. Wie oben auseinandergesetzt, ist für den Aktionsradius die Fahrt mit einer kleineren, der sog. ökonomischen Geschwindigkeit maßgebend, anderseits muß die Turbine aber auch so dimensioniert sein, daß sie jene für die Maximalgeschwindigkeit erforderliche Leistung ergibt. Es liegt nun ebenfalls im Wesen der Turbinenkonstruktion begründet, daß sie nur bei einer bestimmten Tourenzahl richtig arbeitet, während bei allen anderen, höheren oder geringeren Umdrehungszahlen sich Energieverluste des Dampfes einstellen. Wenn man also diese für eine bestimmte maximale Tourenzahl, d. h. bestimmte maximale Schiffsgeschwindigkeit gebaute Turbine mit geringerer Tourenzahl arbeiten läßt, um eine geringere Geschwindigkeit des Schiffes zu erreichen, dann wird sie unökonomisch. Das zeigte sich bei den schon erwähnten Vergleichsfahrten der deutschen Kreuzer „Lübeck" und „Hamburg", indem „Lübeck" bei 12 Knoten einen um 17% größeren Kohlenverbrauch als „Hamburg" aufwies.

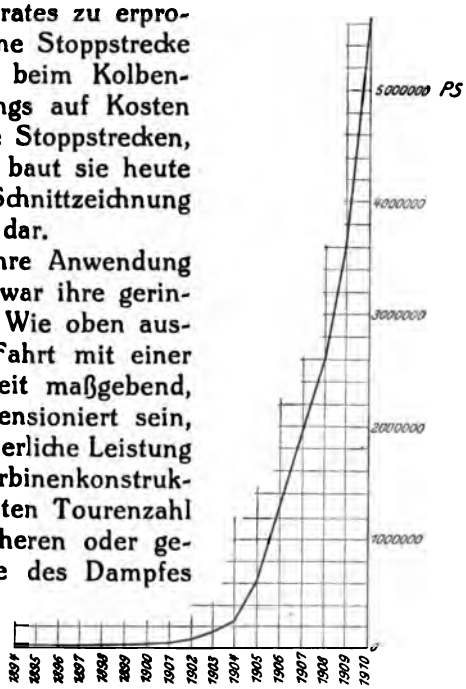


Abbildung 103. Leistung der in den Jahren 1894—1910 gebauten Parsons-Schiffsturbinen.

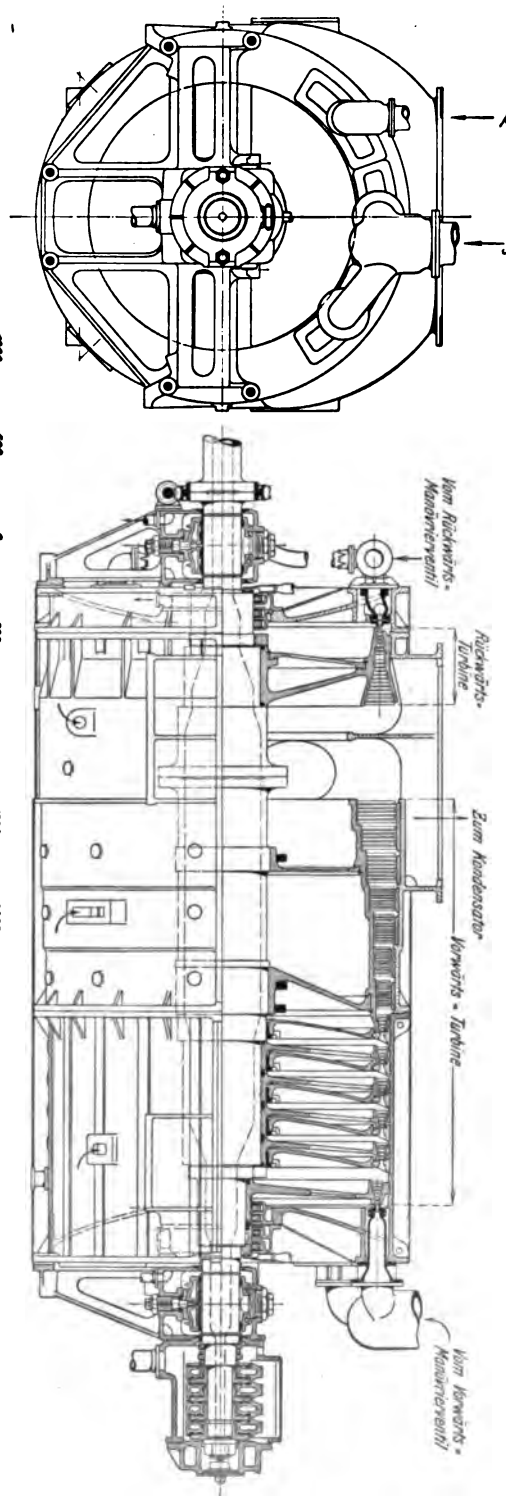


Abbildung 104. Längsschnitt und Vorderansicht einer A.-E.-G.-Turbine für ein Torpedoboot, gebaut 1907 von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin. Leistung 8000 P. S., 650 minutliche Umdrehungen.

Aber selbst bei größten Geschwindigkeiten wird die direkte Verbindung der Schiffsturbine mit dem Propeller eine unwirtschaftliche Kombination ergeben müssen. Es hängt das mit der Arbeitsweise des Propellers zusammen.

Den Vorgang beim Antrieb des Schiffes durch einen Schraubenpropeller dürfen wir uns nicht als ein Weiterschrauben im Wasser vorstellen, weil wir es beim Wasser nicht mit einem festen und feststehenden Körper zu tun haben. Die Wirkung des Schraubenpropellers beruht vielmehr ebenso wie die des Schaufelrades und anderer Treibapparate auf der Reaktion, die sich etwa in folgender Weise erklären läßt (Abbildung 105). Statt des sich drehenden Schraubenpropellers denke man sich einen Kolben K am Ende der Welle angebracht und diesen Kolben dadurch bewegt, daß die Welle in Richtung des Pfeiles 1 ausgestoßen wird und dadurch einen Wasserzylinder A (durch Schraffur angedeutet) in Bewegung setzt. Das von vorn mit der Schiffsgeschwindigkeit zufließende Wasser wird auf eine höhere Geschwindigkeit gebracht, es wird also beschleunigt. Diese Beschleunigung kann nur dadurch erreicht werden, daß durch den Kolben eine Kraft auf das Wasser A ausgeübt wird, die umgekehrt wieder am Kolben und an der Welle eine Gegenkraft hervorruft; diese dient, indem sie den Schiffswiderstand überwindet, zum Antrieb des Schiffes. Was nun in diesem Idealfall durch Ausstoßen des Kolbens erreicht wird, kann auch durch Drehung eines Schraubenpropellers erzeugt werden, dessen Flügel schräge Flächen zur Wellenachse bilden.

Jenes nach hinten beschleunigte Wasser A wird durch neues Wasser ergänzt, das von vorn aus der Richtung B nachfließt. Dieses Nachfließen geschieht

unter der Einwirkung der Atmosphäre, ebenso wie bei einer Kolbenpumpe die Atmosphäre bestrebt ist, das hinter dem Kolben sich bildende Vakuum auszufüllen. Wenn nun die Geschwindigkeit des nach hinten geschleuderten Wassers sehr groß wird, wie es bei Propellern hoher Umdrehungszahl der Fall ist, dann kann unter Umständen der Atmosphärendruck nicht mehr genügen, um rasch genug den leeren Raum auszufüllen. Infolgedessen bilden sich am Propeller Hohlräume — Kavitationen —, durch die der jetzt zum Teil im Wasser, zum Teil im Vakuum arbeitende Propeller eine bedeutende Einbuße an Wirkungsgrad erfahren muß. Solche Kavitationen, die nicht mit dem Einsaugen von Luft durch die Wasseroberfläche zu verwechseln sind, wurden bei Torpedobootsfahrten häufig beobachtet, stellten sich jedoch in ganz besonders auffallender Weise und in ganz erheblichem Maße bei den ersten Fahrten der „Turbinia" ein, wo sie eine erhebliche Verschlechterung der Propellerwirkung veranlaßten.

Die Schraube ist ein Treibapparat, der bei großem Durchmesser und verhältnismäßig niedriger Umdrehungszahl seinen höchsten Wirkungsgrad erreicht, während die Dampfturbine gerade ein schnellaufender, hohe Umdrehungszahlen verlangender Motor ist. Es wird also die direkte Kuppelung von Turbine und Schraube stets ein ungleiches Paar darstellen, ebenso wie es die langsamlaufende Kolbenmaschine und die hohe Umdrehungen erfordernde Dynamomaschine war. Erniedrigt man die Tourenzahl, so wird der Propeller günstig arbeiten, aber nicht die Turbine; erhöht man die Tourenzahl, so daß jene für die Turbine günstige höhere Geschwindigkeit erreicht wird, so sinkt der Wirkungsgrad des Propellers; kurz, die den Propeller antreibende Turbine ist ein Pegasus im Joch!

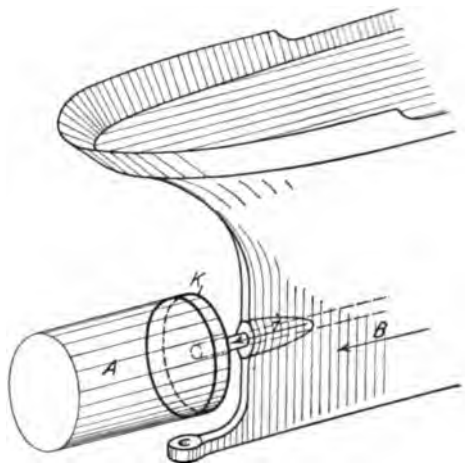


Abbildung 105. Zur Erklärung der Kavitation. (Vgl. Seite 136.)

Solange man also kein ins Langsame übersetzendes Zwischengetriebe einführt, muß man sich zu einem Kompromiß entschließen und der Turbine eine verhältnismäßig niedrige, d. h. eine schwere Konstruktion bedingende, dem Propeller hingegen eine höhere Umdrehungszahl geben, als er für die Erreichung des günstigsten Wirkungsgrades haben müßte. Die Schiffsturbinenbauer haben in dem scharfen Kampf gegen die Kolbenmaschine viel gelernt, und heute haben wir in der Turbine einen Motor, der, bei bestimmten Schiffstypen und von gewissen Minimalleistungen an, nicht nur jeden Vergleich mit der Kolbenmaschine aushält, sondern infolge seiner sonstigen Vorzüge die Kolbenmaschine überflügelt hat; jedenfalls steht so viel fest, daß, wenige Sonderfälle ausgenommen, die Kolbenmaschine im Kriegsschiffbau abgewirtschaftet hat. England ging voran und baut seit etwa sechs Jahren, Deutschland seit drei Jahren nur Dampfturbinen in seine Kriegsschiffe, die anderen Staaten schlossen sich, anfangs zögernd, an, und heute ist die Dampfturbine die Kriegsschiffsmaschine.

Die Hauptvorteile der Turbine gegenüber der Kolbenmaschine liegen in dem Arbeitsvorgang bei dem nur rotierenden Motor begründet; die durch das hin und her gehende Gestänge verursachten Schiffsvibrationen sind bei einer Turbine, die keine Totpunkte besitzt, völlig vermieden. Wenn sich trotzdem Vibrationen bei einzelnen Turbinenschiffen zeigen, so sind diese durch das Arbeiten der Propeller verursacht,

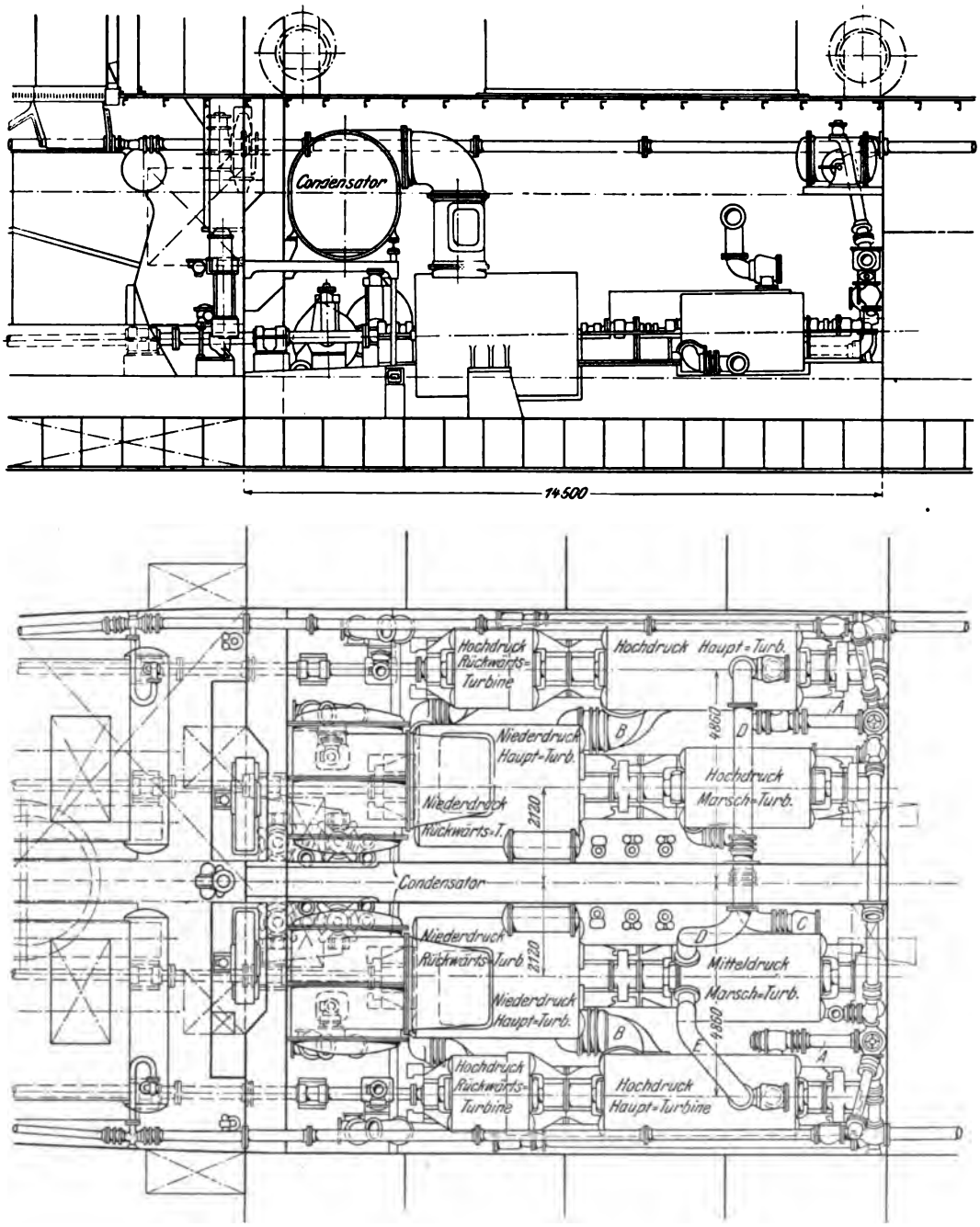
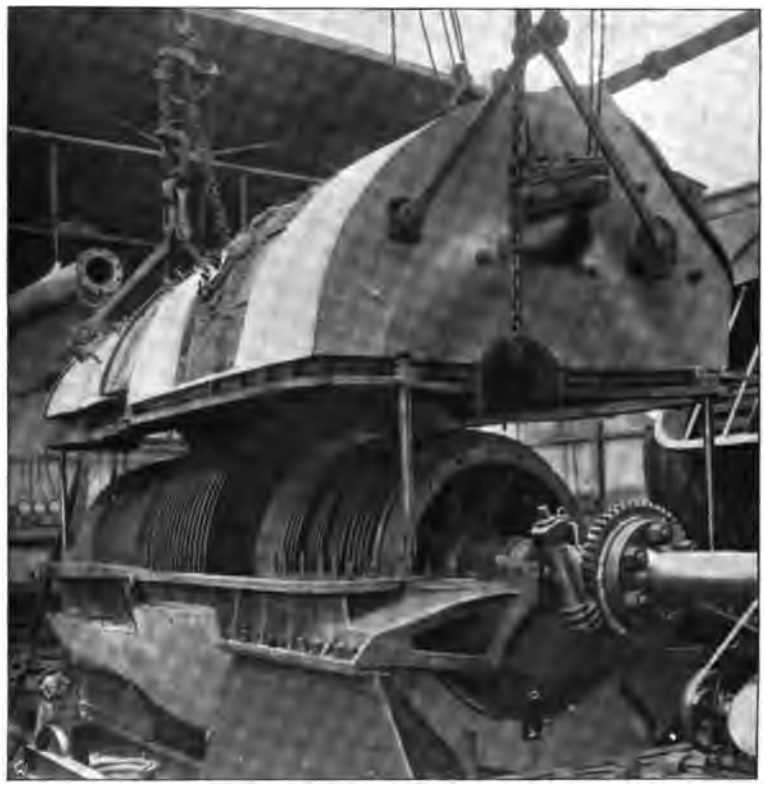


Abbildung 106. Parsons-Turbinenanlage mit Marschturbinen für den italienischen großen Kreuzer „San Marco", gebaut 1908 von der Società anonima italiana Gio. Ansaldo, Armstrong & Co. in Genua. Leistung bei forcierter Fahrt: 20000 P.S. bei 435 Umdrehungen. Geschwindigkeit: 23 Knoten. Bei voller Fahrt geht der Dampf durch die Rohre A in die Hochdruck-Hauptturbinen, von dort durch die Rohre B in die Niederdruck-Hauptturbinen und aus diesen in die Kondensatoren. Bei Marschfahrt geht der Dampf aus der Hochdruck-Marschturbine durch C in die Mitteldruck-Marschturbine, aus dieser durch D und E in die Hochdruck-Hauptturbinen und aus diesen, so wie bei forcierter Fahrt, durch die Niederdruck-Hauptturbinen nach den Kondensatoren. Auf den beiden äußeren Wellen sind die Hochdruck-Rückwärtsturbinen, auf den inneren Wellen die Niederdruck-Rückwärtsturbinen angebracht.

und dann sind die Vibrationen nur auf das Hinterschiff beschränkt, erreichen auch nicht jene lästige Stärke, wie sie sich bei Kolbenmaschinen häufig zeigt.

Der Aufbau der Turbinen bedingt wesentliche Erleichterung für die Bedienung, da keine der Reibung ausgesetzten, also besondere Wartung und Schmierung erfordernden Teile, wie Kolben, Stangen, Zapfen, vorhanden sind; anderseits ergibt sich eine große Reinlichkeit im Betriebe, weil die Dampfturbine, entgegen der Kolbenmaschine, weder Öl noch Wasser nach außen abscheidet. Der Platzbedarf der Schiffsturbine ist bezüglich der bebauten Grundfläche fast ebenso groß wie der der Kolbenmaschine, wohl aber ist bedeutender Gewinn in der Höhe vorhanden, was für Kriegsschiffe, bei denen die Maschinenanlage unterhalb des Panzerdecks ihren Platz finden muß, von besonderer Wichtigkeit ist. Bei Handelsdampfern allerdings spielt letzterer Vorteil keine Rolle, weil Höhe meist reichlich zur Verfügung steht.



Abbild. 107. Dampfturbine System Schichau für ein deutsches Torpedoboot.

Das Gewicht ist bei den mit höheren Umdrehungszahlen arbeitenden Dampfturbinen (z. B. bei Torpedobooten) 10 bis 15 % kleiner als das der gleichwertigen Kolbenmaschine, erreicht bzw. überschreitet es sogar bei den relativ langsamlaufenden Linienschiffs- und Handelsschiffsturbinen.

Die geringere Wirtschaftlichkeit der Turbine bei kleinen Geschwindigkeiten, die als ökonomische und Marschgeschwindigkeiten für Kriegsschiffe hauptsächlich in Betracht kommen, führte zur Anordnung von Marschturbinen, worunter Turbinenstufen mit kleinem Füllungsdampfvolumen zu verstehen sind, die den Hochdruckstufen des forcierten Betriebes vorgeschaltet werden und ermöglichen, bei kleineren Geschwindigkeiten mit kleinen Dampfmengen ökonomisch zu arbeiten. Parsons hat diese allerdings Raum und Gewicht vermehrende Anordnung geschaffen, und Abbildung 106 zeigt (in schematischer Darstellung) eine solche Turbinenanlage für einen modernen Kreuzer.

Um bei voller Fahrt den Widerstand der leer mitlaufenden Marschturbinen zu vermindern, läßt man sie durch Verbindung mit dem Kondensator im Vakuum arbeiten. Die Rohrleitung wird bei Anordnung von Marschturbinen natürlich komplizierter, und die Verteilung der Leistung auf mehrere Wellen verursacht eine oft unerwünschte Abhängigkeit der einzelnen Wellen voneinander.

Abbildung 108. Parsons-Turbinen des Torpedobootes „S. 125", gebaut 1903/05 von der A.-G. Brown, Boveri & Co. in Baden (Schweiz).

Diesem Parsonsschen System der Mehrwellenanordnung, wobei die vollständige Expansion des Dampfes vom Kessel- bis zum Kondensatordruck auf mehreren Wellen sich vollzieht, ist ein Konkurrent in der Einzelwellenanordnung erstanden, die heute immer mehr an Ausdehnung gewinnt und auch bei fast allen neueren Anlagen der deutschen Marine Verwendung gefunden hat. Bei diesem System, das zuerst von dem Amerikaner Curtis, besonders aber von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Verbindung mit dem Stettiner „Vulkan" ausgebildet wurde, sind die sämtlichen Turbinenstufen auf einer Propellerwelle angeordnet; jede Welle hat eine selbständige Turbine und ist von den Nachbarwellen unabhängig, und die Dampfökonomie bei kleinen Geschwindigkeiten wird dadurch erreicht, daß man einzelne von den Dampfzuführungen (Düsen) der partiell beaufschlagten Hochdruckstufen abschaltet; damit sind auch alle aus der Anordnung der Marschturbinen entstehenden Betriebsmängel und Havariemöglichkeiten vermieden. So sind z. B. die Anlagen der Schichau- und Vulcan-Torpedoboote gebaut, ebenso jene der deutschen Linienschiffe.

Abbildung 107 zeigt eine Turbine der Schichauboote „S 168—171" als Einzelwellenanlage, im Gegensatz dazu Abbildung 108 die Parsonsturbinen des ersten deutschen Turbinentorpedobootes „S 125".

Mit Zoellyturbinen ist das von der Kruppschen Germaniawerft gebaute Torpedoboot „G 173" (Abbildung 109) ausgerüstet.

Es ist interessant, zu sehen, wie sich im Turbinenbau jene Erscheinung wiederholt, die sich im vergangenen Jahrhundert bei der Entwicklung der Kolbenmaschine zeigte. Dutzende von Maschinentypen wurden gebaut, denn fast jede grö-

Abbildung 109. Deutsches Torpedoboot „G 173", gebaut 1908/09 von Fried. Krupp A.-G. Germaniawerft, Kiel. Der Antrieb erfolgt durch Dampfturbinen vom System Zoelly, gebaut von Escher, Wyß & Co., Zürich.

ßere Firma hatte ihre Sonderkonstruktion; schließlich aber ging aus dieser bunten Reihe jene Schiffsmaschine hervor, welche als stehende Hammermaschine bzw. liegende Räderschiffsmaschine das Feld beherrschte. Dasselbe zeigt sich heute im Turbinenbau. Man kann von einer „Normalturbine" sprechen, die aus einzelnen, mit Druck- und Geschwindigkeitsabstufung arbeitenden Rädern und einer darangesetzten, der Parsonsschen ähnlichen Trommelturbine besteht, und somit einerseits im Hochdruckteil die Vorteile der starken Düsenexpansion, anderseits im Niederdruckteil den hohen Wirkungsgrad der voll beaufschlagten Trommelturbine besitzt.

Abbildung 110. Niederdruck-Vorwärtstrommel der Parsons-Dampfturbine für den Hamburger Dampfer „Imperator", gebaut 1912 von den Vulcanwerken, Hamburg. Gewicht 136 Tonnen.

Im Handelsschiffbau lagen in einer Beziehung die Verhältnisse für die Einführung der Dampfturbine günstiger, insofern z. B. bei einem Schnelldampfer (Abbildung 110 und 111) die ökonomische Geschwindigkeit in der Nähe der Maximalgeschwindigkeit liegt. Hier tritt jedoch ein anderes Moment störend auf, nämlich die für einen wirtschaftlich arbeitenden Propeller zu hohe Tourenzahl der Dampfturbine. Die vorhin erwähnten Vorteile der Turbine kommen für den Reeder nicht so in Betracht wie für den Konstrukteur des Kriegsschiffes. Raum ist in viel größerem Maße vorhanden, das Gewicht braucht nicht so peinlich beurteilt zu werden, und da die Schiffskolbenmaschine bei hohem Druck und niederer Tourenzahl ökonomischer arbeitet als die

Abbildung 111. Gehäuseunterteil der Niederdruck-Vorwärtsturbine des Hamburger Dampfers „Imperator", gebaut 1912 von den Vulcanwerken, Hamburg.

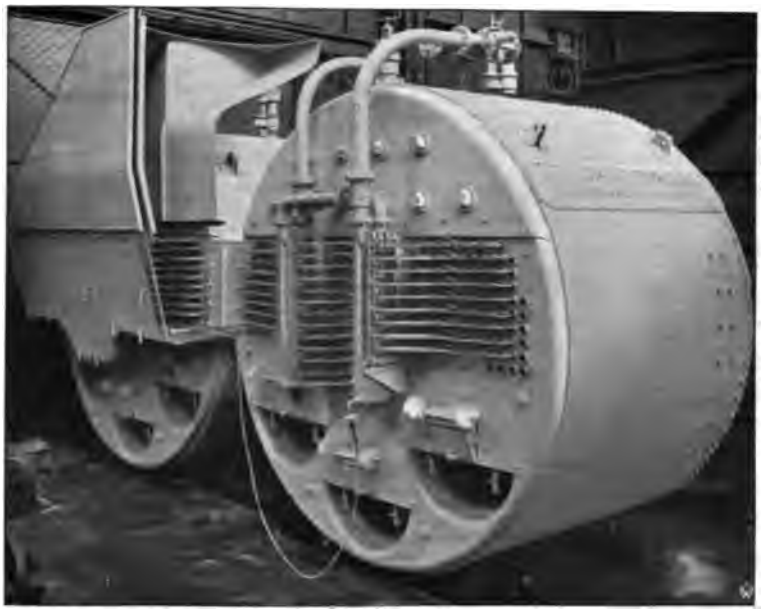


Abbildung 112. Schiffskessel mit Überhitzer, System Wilhelm Schmidt.

Dampfturbine, so erklärt sich damit der Umstand, daß man heute in alle Handelsdampfer, Kanal- und Schnelldampfer ausgenommen, immer noch, und sehr wahrscheinlich noch lange, Kolbenmaschinen einbaut.

Der Erfolg der Dampfturbinenbauer hat aber die Kraft der Kolbenmaschinenbauer gestärkt und sie veranlaßt, nach neuen Bundesgenossen Umschau zu halten. Wenn, sagte man sich, etwas imstande ist, die in hoher Vollendung dastehende Drei- und Vierfach-Expansionsmaschine weiter zu entwickeln, dann ist es die Anwendung des überhitzten Dampfes. Dieser verlangt jedoch eine Änderung der Steuerungsorgane der Kolbenmaschine und zwingt, das Ventil an Stelle des Schiebers anzuwenden. Die Verwendung des überhitzten Dampfes erfordert aber auch den Einbau besonderer Überhitzer, die entweder der Kesselanlage angegliedert, mit den Abgasen derselben betrieben werden, oder als unabhängige Überhitzer selbständige Feuerung erhalten. Das System von Wilhelm Schmidt (Abbildung 112) hat nicht nur im Lokomotivbau, sondern auch im Schiffbau große Verbreitung gefunden.

Von den Ventilsteuerungen ist es fast ausschließlich die Ventilsteuerung von Lentz, die sich in mehreren Ausführungen mit Erfolg Eingang in die Handelsmarine verschafft hat. Auf der Brüsseler Ausstellung des Jahres 1910 war eine Torpedobootsmaschine mit Lentzsteuerung ausgestellt. Wohl

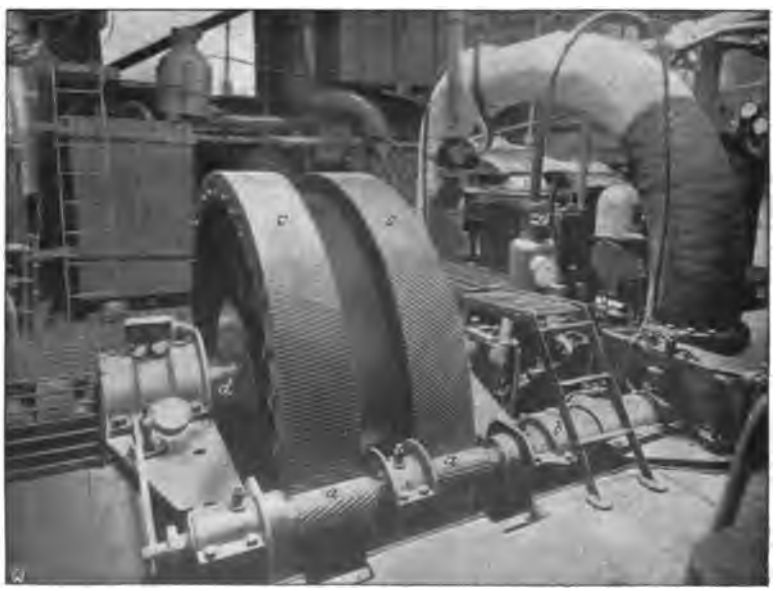


Abbildung 113. Stirnradvorgelege für Parsons-Schiffsturbinen. Ein kleines Schraubenräderpaar a-a auf der 1600 minutliche Umdrehungen aufweisenden Dampfturbinenwelle b treibt ein großes Räderpaar c-c auf der mit 80 minutlichen Umdrehungen sich drehenden Schraubenwelle d.

weiß man, daß eine solche Maschine sehr wirtschaftlich arbeitet, daß der Antrieb der Ventile relativ einfach ist, daß sich die Umsteuerung leicht und sicher bewerkstelligen läßt und daß sich somit der Einführung dieses Typs in den Handelsschiffbau gewisse Perspektiven eröffnen könnten, aber trotzdem kann man überzeugt sein, daß sich die Kolbenmaschine den einmal an die Dampfturbine verlorenen Boden nie wieder erobern wird. Einerseits die unbestreitbaren Vorzüge der Turbine: der Mangel jeglicher sich reibenden Teile, anderseits die Komplikation, die ein Überhitzer in der Kesselkonstruktion und im Betriebe veranlaßt, hauptsächlich aber die täglich mehr an Bedeutung gewinnende Verbrennungskraftmaschine lassen solche Versuche wenig aussichtsvoll erscheinen. Wenn die Dampfturbine verdrängt werden sollte, dann wird es durch die Verbrennungskraftmaschine geschehen, nimmer durch die Kolbendampfmaschine.

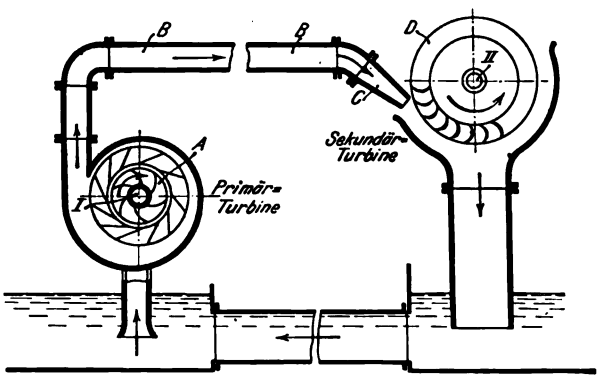


Abbildung 114. Schema des Föttinger-Transformators. I ist die primäre, von der Dampfturbine hoher Umdrehungszahl angetriebene Welle; auf dieser sitzt das Schleuderrad A, das Wasser ansaugt und in seinem Druck erhöht. Dieses Druckwasser wird durch die Leitung B und die Düse C gegen die Sekundärwasserturbine D geführt und treibt diese und die Sekundärwelle II mit wesentlich geringerer Tourenzahl wie I an.

Dieser starke Wetteifer zwischen Kolbenmaschine und Dampfturbine hat aber gerade in allerletzter Zeit erneute Anstrengungen hervorgerufen, um der Turbine den breiten Boden des Handelsschiffbaues zu erobern. Man hat, unter Verzicht auf den direkten Schraubenantrieb, versucht, durch Einschalten von Zwischengetrieben die Tourenzahl der Propellerwelle zu vermindern, um auf diese Weise eine schnellaufende kleine Turbine von geringem Gewicht und einen langsamlaufenden großen Propeller von hohem Wirkungsgrad zu erreichen. Abbildung 113 zeigt das mechanische Zwischengetriebe, das Parsons bei dem Dampfer „Vespasian" mit Erfolg zur Anwendung gebracht hat.

Ein ähnliches Getriebe hat die Westinghouse-Gesellschaft in amerikanische Schiffe eingebaut.

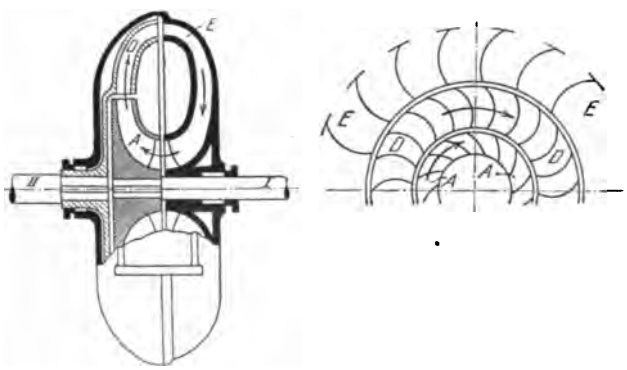


Abbildung 115. Schnitt durch den Föttinger-Transformator (schematisch). A ist das auf der Primärwelle I befestigte, von der Dampfturbine angetriebene Schleuderrad. Das Wasser tritt aus A in die mit der Sekundärwelle II (Propellerwelle) verbundene Wasserturbine D; E sind feststehende Umlenkschaufeln, die das Wasser im Kreislauf zum Rade A zurückführen. Die Formgebung der Schaufeln A, D und E läßt sich aus dem abgewickelten Schnitt ersehen.

Die originellste Idee ist zweifellos diejenige des Professors Föttinger, die zum Bau eines hydrodynamischen Zwischengetriebes, des sog. Föttinger-Transformators, geführt hat. Das Prinzip wird durch die schematische Abbildung 114, die Konstruktion durch Abbildung 115 erläutert.

Die ersten Versuche, die der Stettiner „Vulcan" mit einem solchen Transformator für einen kleinen Werftdampfer durchführte, ergaben einen hohen Wirkungsgrad der Anlage; man konnte jedoch in Zweifel sein, ob sich der Transformator in

größeren Ausführungen auch so bewähren, ob hauptsächlich bei Leistungserhöhungen sein Wirkungsgrad sich nicht wesentlich ungünstiger gestalten würde. Deshalb ist das Vorgehen der Hamburg-Amerika-Linie freudig zu begrüßen, die sich vor kurzem entschloß, in einen größeren Fracht- und Passagierdampfer eine Anlage von 2×6000 P.S. einzubauen. Während diese Zeilen zum Druck gehen, finden in den Hamburger Vulcanwerken die Dauerproben statt, die bisher ein in jeder Beziehung günstiges Ergebnis geliefert haben: bei einer Übersetzung von 800 Touren der Turbinenwelle auf 160 Touren der Propellerwelle sind 89% Wirkungsgrad gemessen worden, und die Umsteuerung von „voll vorwärts" auf „voll rückwärts" wurde absolut sicher in 12 Sekunden bewerkstelligt.

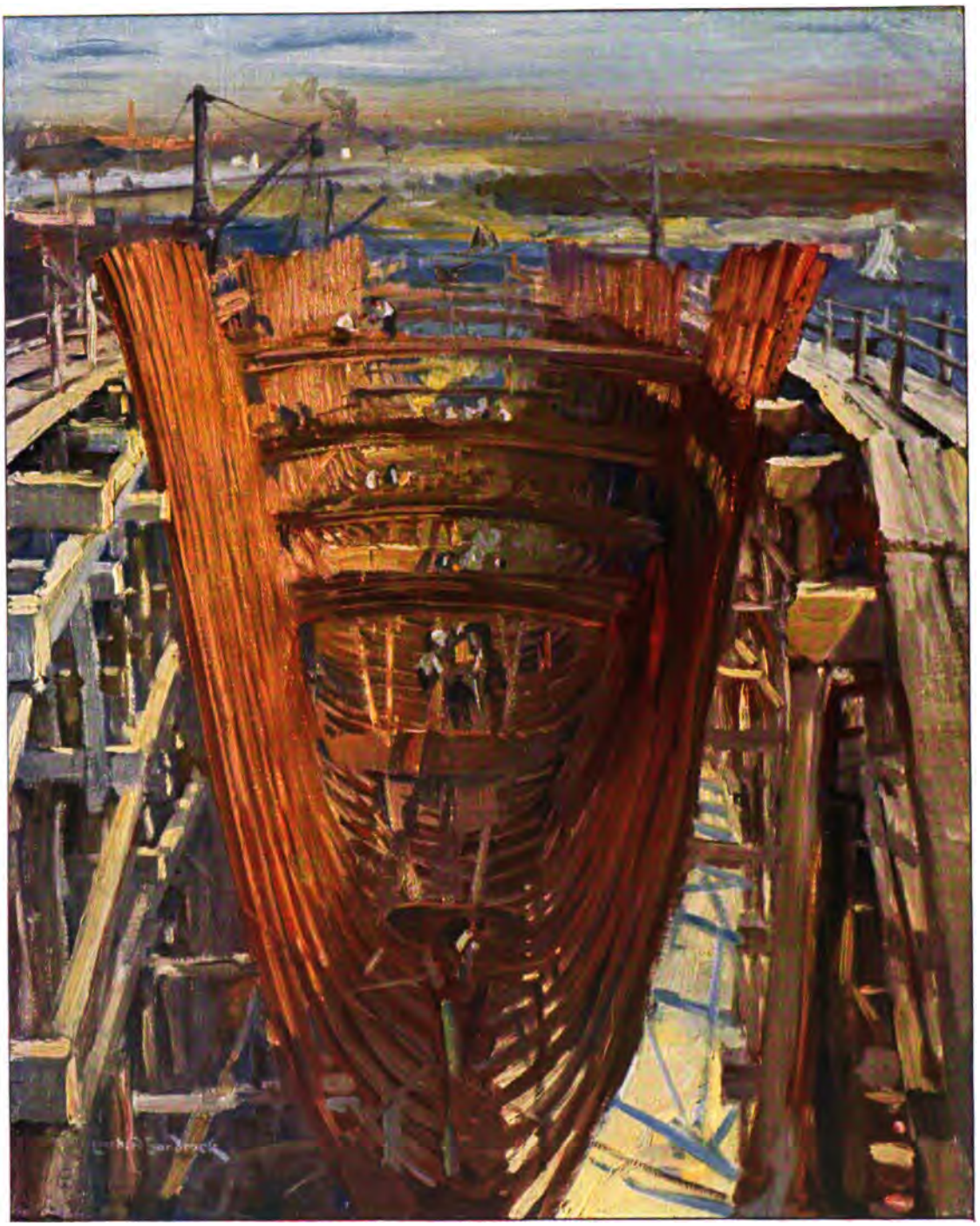
Prüft man diese Zwischengetriebe auf ihre praktische Anwendbarkeit, so wird man zu der Überzeugung gelangen, daß sie alle den Vorteil auf wirtschaftlicher Seite nur durch erhebliche Komplikationen erreichen. Die mechanischen Zwischengetriebe mit ihren bei hohen Leistungen und Geschwindigkeiten starkem Verschleiß ausgesetzten Zähnen, die bei Seegang Stöße und Überbeanspruchungen erfahren müssen, die elektrischen Übertragungen, die an und für sich kostspielig in der Anlage sind, mit zwei Energieformen arbeiten und durch Isolationsstörungen, Kurzschluß weitere Havariemöglichkeiten für die Schiffsmaschine ergeben, das hydrodynamische Getriebe mit zwei Arbeitsmedien, beweisen, daß der hier beschrittene Weg kaum der richtige sein kann, um die Einführung der Dampfturbine ins Handelsschiff zu sichern. Alle diese Bestrebungen sind am letzten Ende nur Eingeständnisse einer schwachen Stellung der Turbine gegenüber der geringeren Geschwindigkeit des Handelsschiffes; sie zeigen die Grenzen ihrer Anwendbarkeit und lassen weitere Lösungen durch Zwischengetriebe wenig aussichtsvoll erscheinen. Richtiger scheint es, das Problem durch Schaffung eines Propellers, der hohen Wirkungsgrad mit hoher Tourenzahl verbindet, zu lösen.

Im Zusammenhang mit der Dampfturbine sollen auch noch die kombinierten Anlagen besprochen werden, die in jüngster Zeit mehrfach Anwendung gefunden haben.

Die Kolbenmaschine ist vorzüglich geeignet, hohe Dampfdrucke auszunutzen, während die Dampfturbine gerade imstande ist, die Energie niedriggespannten Dampfes in weit höherem Maße zu verwerten, als es die Kolbenmaschine vermag. Während die Expansion in einer modernen Schiffskolbenmaschine äußerstenfalls eine 14fache ist, läßt sie sich in der Dampfturbine auf das 150fache treiben. Von diesem Gedanken ausgehend, hat man ein Maschinenaggregat geschaffen, bei dem der Dampf zuerst in einer Kolbenmaschine arbeitet und dann in eine Dampfturbine strömt, wo ihm unter weiterer Expansion bis auf den Kondensatordruck der Rest seiner Energie in viel vollständigerer Weise entzogen wird, als es in einer Kolbenmaschine möglich wäre. Dabei läßt man gewöhnlich zwei Kolbenmaschinen auf zwei Seitenschrauben arbeiten und gibt der Mittelwelle die Dampfturbine.

Man erreicht durch eine solche Anlage nicht nur eine erheblich gesteigerte Ökonomie, sondern erzielt auch noch den Vorteil, daß man für die Rückwärtsfahrt die beiden Kolbenmaschinen zur Verfügung hat, die energischer wirken und das Fahrtmoment rascher aufheben, als es die Turbinen vermögen. Die beiden Riesendampfer der White-Star-Linie: „Olympic" und sein zu trauriger Berühmtheit gelangtes Schwesterschiff „Titanic", haben solche Kombinationen von Turbinen und Kolbenmaschinen erhalten.

Der Kohlenverbrauch stellt sich bei solchen kombinierten Anlagen um 8% günstiger als jener des reinen Turbinenantriebs.



Schiff in den Spanten (Schichau-Werft, Danzig).

Zu Laas und Krainer:
Die Schiffe und ihre Maschinenanlagen.

3. DIE SCHIFFS-GASMASCHINE

Die Schwierigkeiten, die sich der Einführung der Dampfturbine in den Weg stellten, zeigten sich auch bei der Schiffsgasmaschine, worunter alle zum Schiffsantrieb verwandten Verbrennungskraftmaschinen (mit Kraftgas, Benzin, Petroleum, Paraffin-, Roh- und Teeröl angetrieben) verstanden sein sollen. Auch hier galt es gegen den mächtigen Konkurrenten zu kämpfen, der die höchste Stufe der Vollendung erreicht hatte, und man stellte Anforderungen, welche die hundert Jahre alte Dampfmaschine erfüllt, in gleicher Strenge an die junge Gasmaschine.

Die Dampfturbine befand sich insofern in einer günstigeren Stellung, als sie viel leichter in großen und größten Einheiten gebaut werden konnte, während die Schaffung großer Schiffsgasmaschinen heute noch bedeutenden Schwierigkeiten begegnet. Ohne auf die Arbeitsweise der verschiedenen Gasmaschinenarten näher einzugehen, weil das bereits an anderer Stelle* geschehen ist, sei hier nur erwähnt, daß für Schiffszwecke Verpuffungs- und Gleichdruck- (Diesel-) Motoren, sowohl im Viertakt wie im Zweitakt arbeitend, einfach- und doppeltwirkender Art zur Anwendung gelangen. Bei Kenntnis des Arbeitsvorganges ist es nicht schwer zu erkennen, inwieweit die Gasmaschine den Forderungen, die allgemein an eine Schiffsmaschine gestellt werden müssen, gerecht werden kann.

Die Forderung der Wirtschaftlichkeit (als Brennstoffverbrauch für die Leistungseinheit aufgefaßt) wird von der Gasmaschine in hohem Maße erfüllt, und in dieser Beziehung läßt sie die Dampfkolbenmaschine und Dampfturbine weit hinter sich. An einem Beispiel sei das erläutert. Eine 900-P.S.-Schiffskolbenmaschine, die als Dreifach-Expansionsmaschine gebaut ist, gebraucht für die Bremspferdekraftstunde 0,9 kg Kohle, deren theoretischer Heizwert 6000, deren tatsächlicher Heizwert 4500 Wärmeeinheiten beträgt, d. h. es sind für die 900 P. S.

$$900 \times 4500 \times 0{,}9 = 3645000 \text{ Wärmeeinheiten}$$

in der Stunde erforderlich, während der gleichstarke Dieselmotor pro Pferdekraftstunde nur 2200 Wärmeeinheiten, also im ganzen stündlich 1980000 Wärmeeinheiten erfordert, d. i. $^5/_9$ vom Wert der Dreifach-Expansionsmaschine.

Da einerseits der Brennstoffverbrauch für die Einheit der Leistung geringer ist, anderseits die aus der Gewichtseinheit Brennstoff gewonnene Wärmemenge wesentlich größer (10 : 7) ist als bei Kohle, so ergibt sich eine bedeutende Vergrößerung des Aktionsradius bei gleichem Brennstoffgewicht; das mit Gasmaschinen angetriebene Schiff vermag einen vier- bis fünfmal längeren Weg als das dampfangetriebene zurückzulegen.

Freilich ändert sich das Bild, wenn man den Preis von Kohle und Rohöl in Betracht zieht, denn während 10000 Wärmeeinheiten in Form von Kohlen ungefähr 4 Pf. kosten, kosten sie heute in Form von verzolltem Rohöl 12 Pf. Unter Annahme dieses Preises stellen sich also die Brennstoffkosten in der Stunde auf 14,60 M. für die Dampfmaschine, hingegen auf 23,70 M., d. h. 60 % höher, für die Dieselmotoren.

Diese ungünstige Stellung wird aber dadurch wieder verbessert, daß bei einer solchen Anlage der Kesselheizerdienst entfällt, und daß es während der Betriebspausen keinen Brennstoffverbrauch gibt.

Die Herstellungskosten des Motors selbst sind heute bei mittleren und größeren

* Im III. Bande.

Leistungen allerdings, trotz Entfalls der Kesselanlage, wesentlich höher (beim Zweitakt bis 45%, beim Viertakt bis über 100%) als jene einer Dampfmaschinenanlage gleicher Leistung, und nur bei kleinen Leistungen wird die Gasmaschine billiger, weil dabei der Entfall des Kessels zugunsten der Gasmaschine wirkt.

Die Manövrierfähigkeit stellt heute, und vielleicht noch für lange Zeit, die schwächste Seite der Schiffsgasmaschine dar; es ist dem Motor versagt, aus eigener Kraft anzuspringen und seine Umdrehungen innerhalb weiter Grenzen zu ändern, beides Eigenschaften, die an der Dampfmaschine zu höchster Vollendung ausgebildet sind; diese springt aus jeder Stellung an, bedarf dazu der denkbar einfachsten Vorrichtungen, die ein Versagen ausschließen, und anderseits läßt sich durch eine Füllungsänderung innerhalb der Grenzen 20 und 70% die Leistung bis auf das Zwölffache steigern und die Tourenzahl beliebig einstellen, ohne die Ökonomie wesentlich zu beeinflussen. Das kann die Gasmaschine nicht, und man muß sich damit begnügen, wenn sich eine Verminderung der Leistung auf 1/5 der maximalen anstandslos erreichen läßt.

Das Umsteuerproblem ist bei den kleinsten Motoren am einfachsten dadurch gelöst, daß man den Motor in demselben Sinne weiterlaufen läßt und die Schraube durch Verstellen ihrer Flügel in die symmetrische Lage umsteuerbar einrichtet. Abbildung 116 zeigt Meißner-Umsteuerschrauben in größter und kleinster Ausführung. Eine andere Umsteuermöglichkeit ergibt sich durch Wendegetriebe. Bei den großen Motoren, wie sie jetzt für seegehende Schiffe in Leistungen bis zu 2000 P.S. pro Welle schon gebaut werden, wird mittels Preßluft umgesteuert und angefahren; der Motor selbst oder besondere Hilfsmaschinen erzeugen komprimierte Luft, die in Behältern aufgespeichert und, wenn umgesteuert oder angefahren werden soll, in die Zylinder des Motors eingelassen wird, wo sie als Antriebsmittel wirkt, bis der Motor die gewünschte Gangart eingeschlagen hat; das bedeutet natürlich eine Komplikation und damit auch eine Verteuerung der Anlage gegenüber jener ideal-einfachen Lösung bei der Dampfkolbenmaschine; dadurch erscheint aber auch die Betriebssicherheit beeinträchtigt, solange nicht eine einfachere, unbedingt sicher wirkende Umsteuerung gefunden ist.

Nur bei kleinsten Motoren erfolgt das Anlassen ähnlich wie bei Automobilen durch eine Handkurbel.

Bei Beurteilung der Betriebssicherheit der Schiffsmotoren gegenüber der Dampfmaschine hat man sich, solange die Entwicklung auf dem jetzt beschrittenen Wege weitergeht und nicht grundlegende Änderungen bei der Energieumsetzung eintreten, stets vor Augen zu halten, daß die Dampfmaschine ein fertiges Arbeitsmittel, den Dampf, in verwendungsbereiter Form empfängt und ausnutzt, während sich die Gasmaschine den Energieträger erst bereiten muß dadurch, daß sie den Brennstoff mit Luft innig mischt und zur Entzündung bringt; das ergibt einen mehr oder weniger komplizierten Vorgang und damit im Zusammenhang größere Wahrscheinlichkeiten für Störungen des Betriebes. Gestörte Vergasung oder Zündung finden kein Analogon bei der Dampfmaschine. In dieser Eigenart der Energieumsetzung liegen gewisse Schwierigkeiten begründet, die sich bei der konstruktiven Ausgestaltung geltend machen und geeignet sind, die Betriebssicherheit herabzusetzen: hohe Temperaturen, hohe Drücke und, mit den letzteren verbunden, bedeutende Gestängekräfte, die, wenn sie auch nur Bruchteile von Sekunden lang wirken, eine wesentlich stärkere Dimensionierung der arbeitenden Maschinenteile erfordern, als es bei Dampfmaschinen üblich ist.

Während die Dampfmaschinenzylinder Maximaldrücke von 18 Atm. und im Falle höchster Überhitzung 300 bis 350° Temperatur erfahren, sind bei den Dieselmotoren 40 Atm. Druck und 2000° Celsius normale Höchstwerte. Diese Verhältnisse erschweren die Konstruktion wesentlich und zeigen ihren hemmenden Einfluß besonders dann, wenn es sich um die Schaffung sehr großer Einheiten handelt. 2000 P.S. in einem Zylinder zu erzeugen, dürfte heute als Grenze anzusehen sein. Wenn man dagegen bedenkt, daß moderne Kriegsschiffanlagen Leistungen von 18000 bis 20000 P.S. auf einer Welle besitzen und solche von 25000 schon in Erwägung gezogen sind, so kommt man doch zu der Überzeugung, daß, trotz der unleugbar bedeutenden Vorzüge auf seiten der Gasmaschine und ihrer in den letzten drei Jahren rapid fortschreitenden Entwicklung und wachsenden Verwendung, die Zeit doch noch nicht so nahe liegt, daß man für größte Leistungen Gasmaschinen baut.

Abbildung 116. Umsteuerschrauben System Meißner.

Die deutsche Marine hat einen dreizylindrigen 6000-P.S.-Motor seit längerer Zeit im Versuchsstadium bei der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, die auf dem Gebiete der Schiffsdieselmotoren Pionierarbeit geleistet hat. Eine Verdoppelung dieser Maschine, also sechs Zylinder von zusammen 12000 P.S., war für die Mittelwelle des Linienschiffs „Prinzregent Luitpold" in Aussicht genommen, doch haben die noch nicht abgeschlossenen Versuche dahin geführt, diese Anlage erst bei einem neueren Linienschiffe zur Anwendung zu bringen.

Bei Beurteilung des Gewichts der Motoranlage kommt als günstigstes Moment das Fehlen der Kessel in Betracht, ein Umstand, der sich hauptsächlich bei kleinsten und größten Leistungen bemerkbar macht, hingegen bei Motoren mittlerer Größe und Geschwindigkeit kaum fühlbar ist; hier ist vielmehr zu berücksichtigen, daß infolge der einfachen Vier- und Zweitaktwirkung gegenüber dem Doppel-Zweitakt der Dampfmaschine das Zylindergewicht für die Leistungseinheit wesentlich größer werden muß. Das führt dahin, daß z. B. die 2000-P.S.-Dampfkolbenmaschine eines Fracht- und Passagierdampfers inkl. Wellenleitung, Propeller und Kondensator etwa 80 kg/P.S. wiegt gegenüber dem Gewicht des einfach wirkenden Viertaktmotors der „Selandia" (Abbildung 124), das ohne Wellenleitung und Propeller 113 kg/P.S. beträgt.

Da den Zylinderdimensionen aus den vorhin erwähnten Gründen in gewisser Weise nach oben eine Grenze gesetzt ist, so kann man größere Einheiten nur durch Vermehrung der Zylinderzahl erhalten. Dieses Aneinanderreihen von Zylindern wird

jedoch bei Schiffsmaschinen infolge des beschränkten Raumes sehr bald eine Grenze finden. Heute baut man die größten Motoren mit 6 bis 8 Zylindern.

Das Gewicht des Motors ist durch die gewählte Tourenzahl bedingt, diese aber wieder in Abhängigkeit von dem Propeller, der ihr eine obere Grenze setzt und diese Grenze bei steigenden Leistungen herunterdrückt, wenn nicht anderenfalls jene Erscheinung der Kavitation eintreten soll. Bei kleinsten und leichtestgebauten Motoren, wie sie bei Rennbooten Verwendung finden, liegt die mit der Tourenzahl n und dem Kolbenhub s in dem Zusammenhang

$$c = \frac{s.n}{30}$$

stehende sekundliche Kolbengeschwindigkeit c zwischen 4½ und 5 m, erreicht in außergewöhnlichen Fällen 6½ m, während sie bei mittelschweren Motoren für kleine und mittlere Jachten und bei Passagierbooten 3 bis 4 m pro Sekunde nicht überschreitet und bei den großen, langsamlaufenden schweren Motoren der Hafenverkehrsboote, Fluß- und Kanalschiffe, Fischereifahrzeuge und großen Seeschiffe ungefähr in den Grenzen von 2½ bis 3 m pro Sekunde schwankt. Demgemäß ändern sich auch die Gewichte des Motors und betragen:

3,2 bis 3,6 kg für die Bremspferdestärke bei Rennbooten,
14 bis 18 kg bei Motoren mittlerer Geschwindigkeit,
etwa 50 kg und mehr bei Motoren kleiner Geschwindigkeit.

Dort, wo einerseits Gewichtsersparnis und anderseits für die Erreichung eines höheren Wirkungsgrades eine langsamer laufende Schraube verlangt wird, kann durch Anwendung eines Zwischengetriebes, z. B. des Föttinger-Transformators, eine Vereinigung dieser beiden sich widersprechenden Forderungen erreicht werden.

BRENNSTOFFE. Als Brennstoffe kommen für Schiffsmotoren in verschwindender Menge gasförmige, hauptsächlich nur flüssige Brennstoffe in Betracht. Denn trotz ihres günstigen thermischen Wirkungsgrades und der Möglichkeit, billige Kohle zum Betrieb zu verwenden, haben die Schiffssauggasanlagen keine größere Verbreitung gefunden, es ist vielmehr ihre Verwendung beschränkt geblieben auf Flußlastboote und -schlepper. Herrschend und täglich an Bedeutung gewinnend sind die Ölmotoren geworden, jene Verbrennungskraftmaschinen, deren Energieträger Öle sind, die man bei der Destillation von Erdöl, Braun- und Steinkohlenteer als flüssige Produkte gewinnt. Dahin gehören: Benzin, Petroleum und Gasöl aus dem rohen Erdöl; Leuchtöl und Paraffinöl aus dem Braunkohlenteer; Benzol, Kreosotöl und Anthrazenöl (Teeröle) aus dem Steinkohlenteer. Die ersten Motoren arbeiteten mit den leichtflüssigen Ölen, hauptsächlich Benzin. Die leichte Entzündlichkeit, die nahezu vollkommene Verbrennung, die einfache Konstruktion der Vergaser, das geringe Gewicht der Motoren stellten die Vorteile dar, während die Feuergefährlichkeit des Brennstoffs, sein hoher Preis als Hauptnachteile veranlaßt haben, daß man zu dem weniger leicht entzündlichen Spiritusbenzol, zum Petroleum und schließlich zu den Treibölen übergegangen ist.

Bei der Verwendung von Treiböl mit hohem Entflammungspunkt ist Feuergefährlichkeit in wesentlich geringerem Maße vorhanden, und da sich diese Treiböle auch als Nebenprodukt der Braunkohlen- und Steinkohlendestillation ergeben, so ist für jene Länder, die, wie Deutschland, fast keine natürlichen Erdöle besitzen, eine Preissteigerung kaum zu erwarten, im Gegensatz zu den aus Erdölen gewonnenen Treibölen, die durch Ringbildungen in den Kreisen der Petroleumproduzenten Preis-

erhöhungen erfahren dürften, sobald die zunehmende Verwendung der Ölmotoren, besonders auch zum Schiffsantrieb, solche aussichtsreich erscheinen läßt.

Diese Treiböle, worunter man Gasöl, Paraffinöl, Kreosot- und Anthrazenöl versteht, die mit einem spezifischen Gewicht zwischen 0,83 und 1,1 einen Heizwert von 8800 bis 10000 WE-kg aufweisen, stellen heute den für größere Motoren weitaus wichtigsten Brennstoff dar. Sie lassen zufolge ihres hohen Entflammungspunktes (über 65°) die für die Erreichung eines günstigen thermischen Wirkungsgrades hohe Kompression zu und eignen sich somit hervorragend zur Anwendung des Dieselschen Gleichdruckverfahrens, das bei großer Wirtschaftlichkeit eine große Betriebssicherheit wegen des Fehlens besonderer Zündvorrichtungen zeigt, Momente, die bei der Verwendung zum Schiffsantrieb von ganz besonderer Bedeutung sind.

SCHIFFSDIESELMOTOREN. Seit 1903, in welchem Jahre der erste Schiffsdieselmotor gebaut wurde, hat sich diese Maschinengattung erst langsam, dann aber immer rascher Eingang in den Schiffsbetrieb erzwungen und scheint nach den Ereignissen der letzten Zeit berufen, in der nächsten Zukunft schon den Motor für kleine und mittelgroße Fracht- und Passagierschiffe abzugeben und die Dampfmaschine aus diesem Gebiete ebenso endgültig zu verdrängen, wie es durch die Benzin-, Petroleum- usw. Motoren bei kleinen Schiffen bereits geschehen ist. Mitte 1912 waren fertig bzw. im Bau ca. 50000 P. S. an Schiffsdieselmotoren für Fracht- und Passagierdampfer von 1000—22000 t Depl., und allerwärts sind Neuanlagen vorgesehen bzw. projektiert. Deshalb soll hier auf die Vorteile dieser Maschinengattung, die sich bei ihrer Anwendung im Großschiffbau besonders geltend machen, noch hingewiesen werden.

Wie alle Gasmaschinen, zeigt der Dieselmotor in seiner Verwendung bei Schiffen, speziell auch bei Kriegsschiffen, die schon genannten Vorteile des geringen Brennstoffverbrauchs, damit verknüpft eine wesentliche Vergrößerung des Aktionsradius auf das Vier- und Fünffache oder eine entsprechende Erhöhung der Maschinenleistung und Geschwindigkeit, die sofortige Betriebsbereitschaft, eine wesentliche Raum- und Personalersparnis und alle jenen Vorteile, die durch den Fortfall der Kesselanlage und ihrer Bedienung sich ergeben, d. i. vor allem die Möglichkeit des Forcierens ohne Überlastung des Personals, ein einfaches, rasches Übernehmen des Brennstoffs durch Pumpen, die Rauchlosigkeit bzw. Rauchverminderung und die durch die Verkleinerung bzw. den Fortfall der Schornsteine sich ergebenden Vorzüge, die sich ganz besonders in einer günstigeren Geschützaufstellung bei Kriegsschiffen zeigen, und die zusammen mit der erhöhten Geschwindigkeit eine Verbesserung der militärischen Eigenschaften, des Gefechtswertes, ergeben. Nach 1906 ist das Manövrierproblem des Dieselmotors durch Preßluftumsteuerung in so befriedigender Weise gelöst worden, daß auch nach dieser Richtung hin der moderne Motor wenig zu wünschen übrigläßt. Das Umsteuern von voll vorwärts auf voll rückwärts erfordert bei den größten bisher im Betrieb befindlichen Anlagen weniger wie 20 Sekunden, und auch das Regeln der Umdrehungszahlen kann durch Regeln der Ölzufuhr nach den Zylindern bis auf 1/5 und 1/6 der normalen stattfinden, ohne den Brennstoffverbrauch für die Leistungseinheit wesentlich zu erhöhen. Der ganze Manövriervorgang: Ingangsetzen durch Druckluft, Einschalten des Brennstoffs und Ausschalten der Druckluft bzw. Umsteuern, erfolgt durch Bewegen zweier Hebel am Maschinistenstand.

Allerdings stehen solchen bedeutenden Vorteilen nicht zu leugnende Nachteile gegenüber; dahin gehören vor allem die durch die großen Drücke und hohen Temperaturen hervorgerufenen bedeutenden Beanspruchungen von Zylindern, Gestängen

und Wellen, die zu reichlicher Dimensionierung der Arbeitsteile führen und mit der Forderung geringen Gewichts im Widerspruch stehen.

Die Hilfseinrichtungen, Maschinen und Apparate, die für den Schiffsbetrieb mit

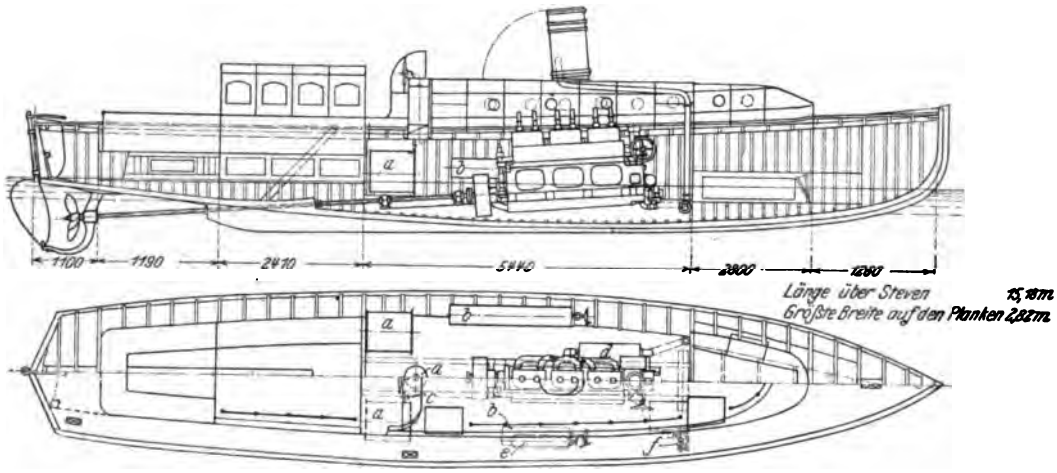


Abbildung 117. Motorboot Klasse „A" der deutschen Marine mit 100-P.S.-Körting-Einspritzmotor.

Dieselmotoren notwendig sind, d. s. Anordnung von Preßluftzylindern am Motor oder besondere Kompressormaschinen, die Unterbringung von Druckluftbehältern, eventuell die Aufstellung von Kompressoren „zweiter Ordnung" zum Anlassen der größeren Kompressormaschinen, schaffen zweifellos eine Komplikation der sonst so einfach erscheinenden Anlage. Damit im Zusammenhang steht auch die Frage nach dem Antrieb der übrigen für den Schiffsbetrieb erforderlichen Hilfsmaschinen und Apparate,

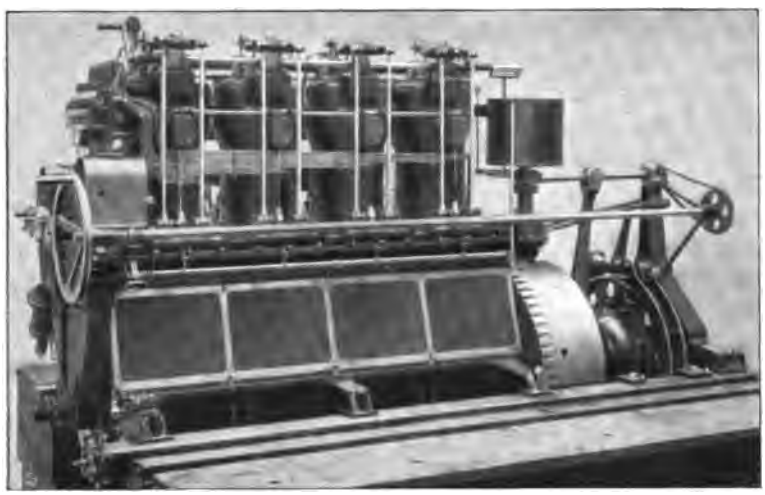


Abbildung 118. Viertakt-Spiritus-Benzol-Schiffsmotor für „A"-Boote, gebaut von Gebr. Körting. Leistung 100 P.S. bei 500 minutlichen Umdrehungen.

die bisher aus denselben Kesseln wie die Hauptmaschine mit Dampf gespeist wurden. Durch den Entfall der Hauptkesselanlage ergibt sich beim Dieselmotorenantrieb die Notwendigkeit, entweder für diese Hilfsmaschinen einen besonderen Hilfsdampfkessel aufzustellen, der auch für Heiz- und Kochzwecke Dampf liefert und aus naheliegenden Gründen mit Öl gefeuert wird, oder eine mit Dieselmotoren betriebene elektrische Zentrale einzurichten, oder eine Druckluftzentrale vorzusehen, von wo aus nach den einzelnen elektrisch oder pneumatisch angetriebenen Hilfsmaschinen Strom bzw. Druckluft gesandt wird. Hydraulischer Betrieb käme nur für gewisse Hilfsmaschinen, wie z. B. Ladewinden, in Betracht. Durch solche Einrichtungen geht aber der Vorteil des

einheitlichen Betriebes, wie ihn der Dampfbetrieb für alle Schiffsmaschinen aufweist, verloren, und die besonderen Arbeitsmedien für die Hilfsmaschinen bedingen schließlich eine kompliziertere und teurere Gesamtanlage.

Zu den Nachteilen zählt auch die Unterbringung des Öls an Bord, die besondere öldichte Nietungen erfordert, die weit sorgfältiger als wasserdichte ausgeführt werden müssen, die Schwierigkeit der Ölbeschaffung und der hohe Preis des Öls, das einstweilen wenigstens noch nicht in den notwendigen Mengen in allen Häfen zu haben ist. Doch läßt sich mit Sicherheit erwarten, daß bei steigender Verwendung von

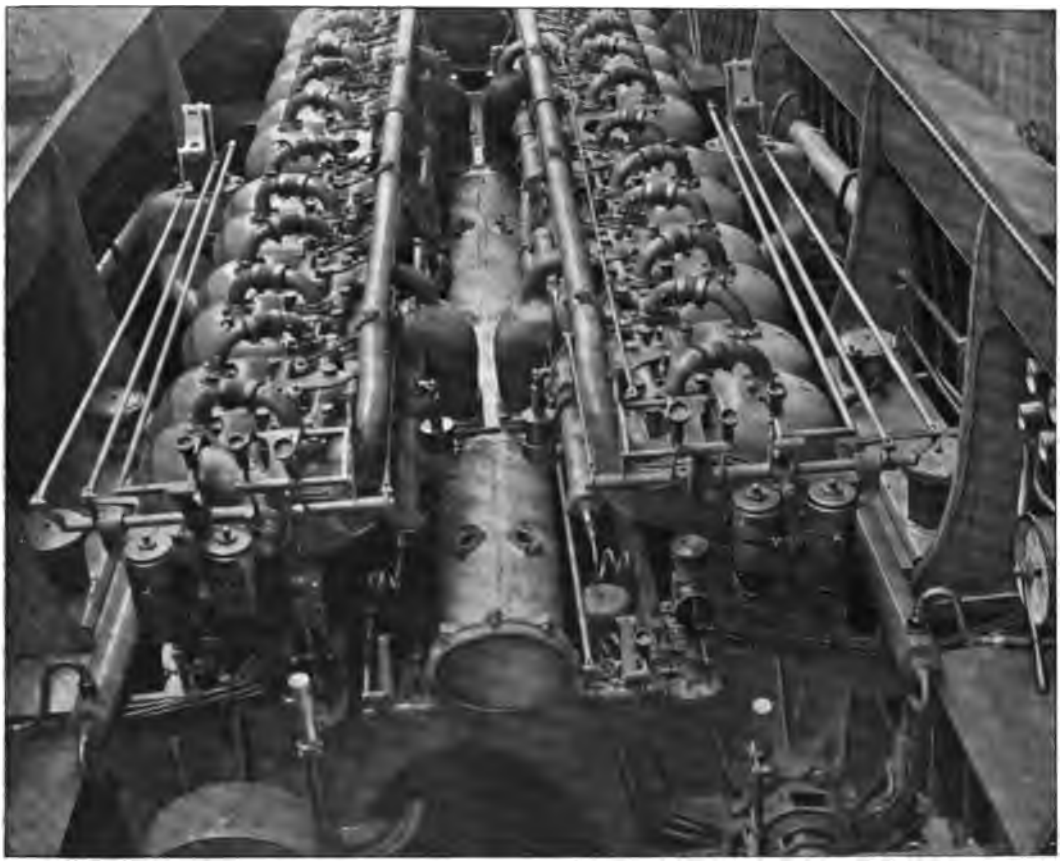


Abbildung 119. Wolseley-Motoren des Rennbootes „Ursula". 2 × 12 Zylinder von zusammen 760 P.S.

Schiffsdieselmotoren in Zukunft auf den Welthandelsrouten Ölstationen eingerichtet werden. Bei Kriegsschiffen ergibt sich als ein besonderer Nachteil des Ölmotors das Fehlen des wichtigen Kohlenschutzes durch den Fortfall der Kohlenbunker, und endlich muß auch noch auf den Rückschritt hingewiesen werden, der zweifellos getan ist, wenn man von der rein rotierenden Dampfturbine mit allen ihren Vorzügen zu der Gaskolbenmaschine übergeht mit den jeder solchen hin- und hergehenden Bewegung anhaftenden Mängeln. Die Entwicklung weist und drängt auf Lösung des Problems der Gas- bzw. Ölturbine, die den hohen thermischen Wirkungsgrad der Gasmaschine mit den maschinentechnischen Vorzügen der Turbine verbinden soll; freilich trennt uns von jenem Zukunftsmotor noch eine tiefe Kluft, die nach den Resultaten der bisherigen Gasturbinenkonstruktionen so bald nicht überbrückt werden dürfte.

Bei all den Erfolgen, die der Motor in seiner Anwendung auf Großschiffe in den letzten Jahren errungen hat, darf man sich nicht verhehlen, daß noch mancher Schritt nach dem Grundsatz „Eile mit Weile" vorsichtig zurückgelegt werden muß, ehe die Anwendung bei größeren Handelsdampfern und Kriegsschiffen selbstverständlich wird; man muß sich dabei die zu erreichenden Leistungen von 100000 P.S. vorhalten und anderseits die Schwierigkeit erkennen, die mit der Schaffung eines 2000-P.S.-Zylinders verknüpft ist.

Abbildung 120. Rennkreuzer „Daimler II" mit 100-P.S.-Daimler-Schiffsmotor. Gewinner des Lanzpreises 1910.

Wenn es auch von den Interessentenkreisen beharrlich geleugnet wird, so läßt sich doch mit großer Sicherheit erwarten, daß die Ölpreise, die heute schon durch Zölle sehr in die Höhe geschraubt sind, mit der steigenden Anwendung von Ölmotoren noch höher getrieben werden, nicht etwa weil die Nachfrage das Angebot übersteigen könnte, sondern weil sich die Rohölproduktion von jährlich 40 Millionen Tonnen in festen Händen weniger, den Markt beherrschender Gesellschaften befindet.

Vom Standpunkt des Schiffsmaschinenbetriebes muß für die zukünftige Entwicklung des Großschiffsmotors vor allem ein Streben der Konstrukteure nach Vereinfachung verlangt werden. Diese ist heute selten vorhanden. Viele von den in den letzten Jahren entstandenen Maschinen (Viertakt, Zweitakt, einfach- und doppeltwirkender Art) zeigen dem unparteiischen Fachmann den Übelstand komplizierter Konstruktionen, sei es, daß eine zu große Zahl von Ventilen oder unzweckmäßige Lagerung der Steuerwellen notwendige Demontagen sehr erschwert, sei es, daß dort, wo auf Verminderung der Ventile und Vereinfachung der Zylindergußstücke, guten Massenausgleich u. a. Wert gelegt ist, andere Mängel auftreten: hohe, weniger stabile Maschinen, Umführungen durch Balanciers und längere Gestänge.

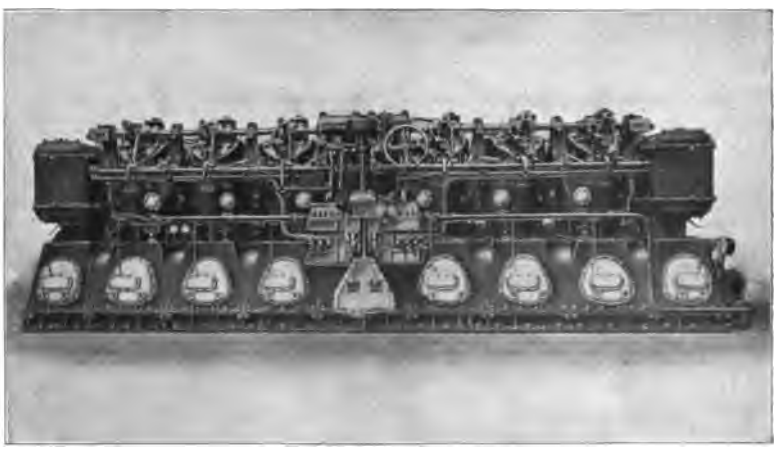


Abbildung 121. Direkt umsteuerbarer Rohöl-Schiffsmotor für Unterseeboote, gebaut von der Fried. Krupp A.-G. Germaniawerft, Kiel. Leistung 1000 P.S.

Dies alles erfordert noch Klärung und praktische Erprobung im Dauerbetrieb des Schiffes und kann nicht aus noch so vielen Proben im Versuchsfeld erkannt werden, wo alle Verhältnisse wesentlich günstiger als auf See liegen.

Um so erfreulicher ist es, zu sehen, wie sich einige Motorkonstrukteure bei der Ausgestaltung der Großschiffsmotoren an das bewährte, in hundertjähriger Entwicklung gereifte Vorbild der Schiffskolbenmaschine gehalten und von dort Konstruktionsprinzipien und eine Reihe gutbewährter Details entnommen haben; es wäre natürlich fehlerhaft, die Konstruktionen sklavisch zu kopieren, denn was dort recht, ist hier noch lange nicht billig. Aber um nur eins hervorzuheben, so ist z. B. bei doppeltwirkenden Maschinen die freie Zugänglichkeit der Kurbeln, Gestänge und Wellenlager an Stelle des verschlossenen, jede Hand- und Augenkontrolle verhindernden Kurbelgehäuses, wie es manche Firmen anwenden, ein wichtiger Fortschritt im Sinne dessen, was der Engländer als „ship-shape-made" bezeichnet, die dem Schiffsgebrauch angepaßte Maschine, ein Begriff, von dem manche Motorkonstruktion noch himmelweit entfernt ist, die bloß als eine in das Schiff gesetzte Landmaschine erscheint. Auch hier kann der leichtgebaute Schnelläufer hoher Leistung ein bewährtes Muster abgeben. Alle bisher errungenen Erfahrungen zugegeben, kann man dem Großschiffsmotor doch noch nicht jene Sicherheit zuerkennen, die man im dauernden angestrengten Betriebe verlangt und verlangen muß.

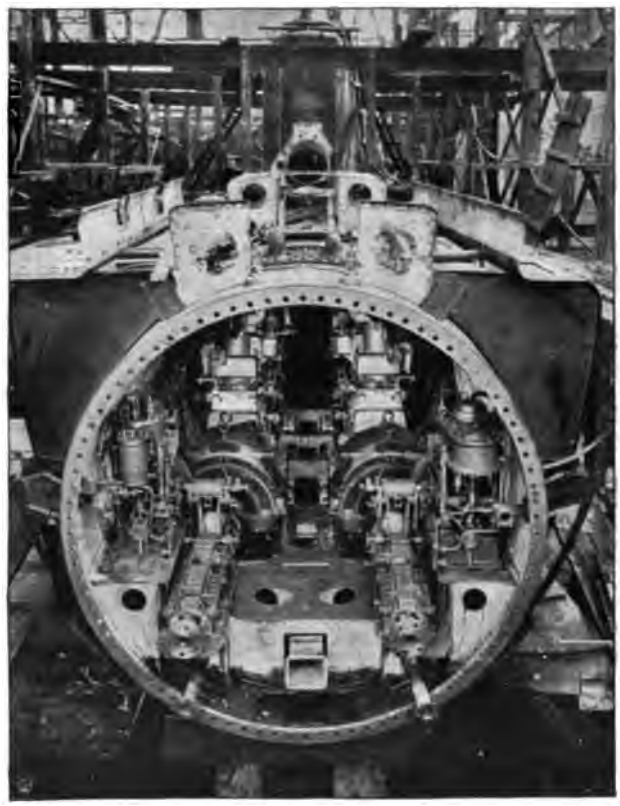


Abbildung 122. Blick in den Maschinenraum eines „Germania"-Tauchbootes, gebaut von der Fried. Krupp A.-G. Germaniawerft, Kiel.

MOTORTYPEN. Die Abbildungen 117—124 stellen eine Reihe typischer Schiffsgasmaschinen und der von ihnen angetriebenen Schiffe dar.

Die deutsche Marine hat über 100 Motorboote (Abbildung 117) mit Einzelleistungen bis über 100 P.S. im Betrieb. An Stelle der Dreifach-Expansionsmaschine, die von einem Thornycroftkessel gespeist wurde, ist ein Körtingmotor eingebaut, der, mit Spiritusbenzol arbeitend, bei 500 Touren 100 P.S. leistet (Abbildung 118).

Eine der stärksten Rennbootsmaschinen, die Wolseley-Motorenanlage der „Ursula", zeigt Abbildung 119. 2×12 Zylinder mit einer Gesamtleistung von 760 P.S. arbeiten auf zwei Wellen. Abbildung 120 zeigt den bekannten Monakosieger „Lürßen-Daimler" in voller Fahrt. Der Wasserrennsport hat die Entwicklung der Schiffsgasmaschine sehr stark und erfolgreich beeinflußt, hauptsächlich durch die beim Sport maßgebende Forderung höchster Geschwindigkeit. Die weitestgehende Ausnutzung der Materialien, die Benutzung von neuen Baustoffen, die Vervollkommnung der Konstruktion in

Richtung äußerster Gewichtsersparnis ist durch die täglich an Bedeutung gewinnende Motorbootindustrie bedingt worden.

Für Unterseeboote sind von Körting, der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg und der Krupp-Germaniawerft sowohl für die deutsche wie für ausländische Marinen eine Reihe von bestbewährten Motortypen geschaffen worden. Abbildung 121 zeigt einen 1000-P.S.-Rohölmotor von Krupp und Abbildung 122 läßt den Einbau dieser Motoren ins Unterseeboot erkennen. Bei Unterwasserfahrt besorgen Akkumulatoren, die von den Ölmotoren vorher geladen wurden, in Verbindung mit Elektromotoren an den Schraubenwellen den Antrieb des Bootes.

Von besonderer Bedeutung ist es, Segelschiffe und Fischereifahrzeuge mit Hilfs-

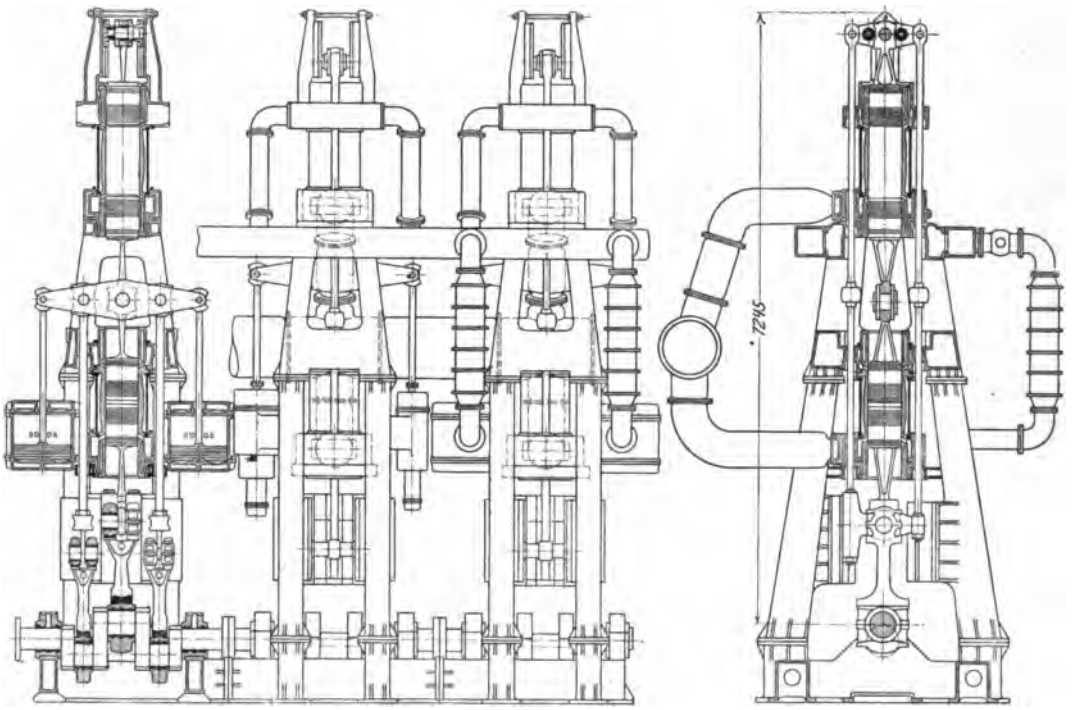


Abbildung 123. Junkers-Motor in Tandemanordnung für ein Frachtschiff der Hamburg-Amerika-Linie, gebaut 1912 von der A.-G. Weser, Bremen. 400 mm Zylinderdurchmesser, 2 × 400 mm Hub, Leistung 800 P.S. bei 120 minutlichen Umdrehungen.

motoren auszurüsten, um die Schiffe von Wind und Wetter unabhängig zu machen, Ein- und Ausfahrt aus den Häfen ohne Schlepperhilfe zu ermöglichen; in beiden Fällen sind einfache, in Anschaffung und Betrieb billige Motoren, die auch zum Antrieb der verschiedenen Hilfseinrichtungen, wie Netzwinden, Ankerspille, benutzt werden können, am Platze.

Zum Antrieb eines 6500-t-Schiffes verwendet die Hamburg-Amerika-Linie zwei 800-P.S.-Motoren vom Junkerstyp, die von der Aktiengesellschaft Weser (Bremen) gebaut werden (Abbildung 123). Diese Motoren zeigen als Eigentümlichkeit beiderseits offene Zylinder mit zwei gegenläufigen Kolben; solcher Zylinder sind zwei in Tandemanordnung übereinandergestellt. Das erste, Januar 1912 in Dienst gestellte Großmotorschiff für Fracht und Passagiere ist die „Selandia" von der Ostasiatischen Schifffahrtsgesellschaft in Kopenhagen. Die 2 Maschinen (Abbildung 124), 8-Zylinder-Vier-

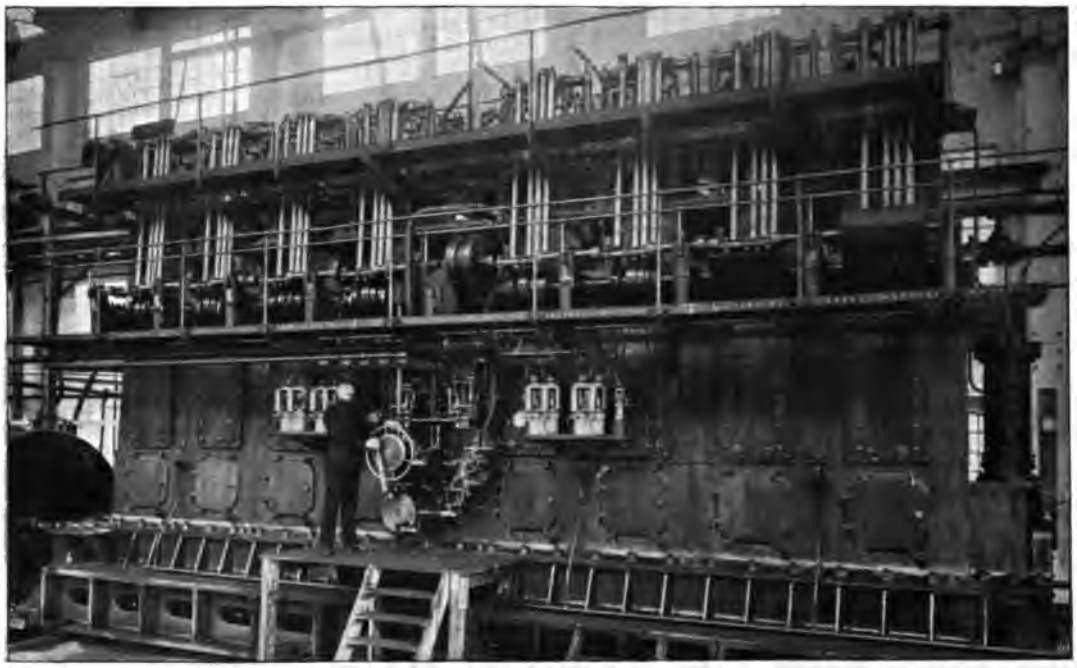


Abbildung 124. Dieselmotor der „Selandia", gebaut 1911 von Burmeister & Wain, Kopenhagen. 8 Zylinder von 530 mm Durchmesser, 650 mm Hub, Leistung 1250 I. P. S. bei 140 minutlichen Umdrehungen.

takt einfachwirkende Motoren nach dem Dieselprinzip arbeitend, entwickeln bei 140 Touren 2500 Wellenpferdestärken und erteilen dem Schiff von 7400 t eine Geschwindigkeit von 12 Knoten.

Was an Raum und Gewicht der Maschinenanlage gespart und welche sonstigen Vorteile in schiffbaulicher Beziehung erzielt werden können, wenn der Dampfbetrieb durch den Ölbetrieb ersetzt wird, geht aus einem Vergleich der Abbildung 125* mit Abbildung 21 (S. 72) hervor. Abbildung 21 ist eine Raumskizze des Schnelldampfers „Kaiser Wilhelm II." mit einer Dampfanlage von 40000 P.S. und ca. 6000 t Kohlen

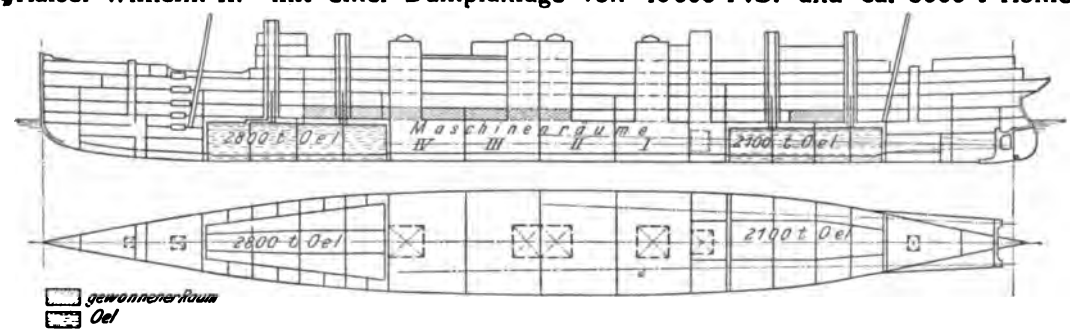


Abbildung 125. Norddeutscher-Lloyd-Schnelldampfer „Kaiser Wilhelm II." (Projekt mit Ölmotoren.)

für eine Fahrt; Abbildung 125 gibt eine Vergleichsskizze desselben Schiffes mit einer Ölmaschinenanlage. In diesem Falle läßt sich in kleinerem Raum und mit gleichem Gewicht eine Maschinenanlage von 60000 P.S. und Öl für Hin- und Rückfahrt unter-

* Nach den Entwürfen von Prof. Laas.

bringen, wobei noch Raum gewonnen wird und die Geschwindigkeit eine Erhöhung von 23½ Knoten auf 26 erfährt. Würde man dasselbe Schiff mit Ölmaschinen von nur 40000 P.S. ausrüsten, so könnte man gegenüber Dampf und Kohle etwa 4000 t an Gewicht unter sonst gleichen Verhältnissen sparen und große Räume gewinnen. Ferner würden hierbei anstatt 300 Mann Maschinen- und Kesselpersonal nur etwa 100 Mann nötig werden.

Dieselben Vorteile resultieren beim Kriegsschiff, aber es kommen noch einige hinzu: es lassen sich wesentlich mehr Geschütze mit günstigeren Bestreichungswinkeln aufstellen, die Möglichkeit des Breitseitfeuerns aller Geschütze ist gegeben, weil die lästigen Schornsteine entfallen.

4. DER ELEKTRISCHE SCHIFFSANTRIEB

Zwei Möglichkeiten liegen bei dieser Art des Antriebs vor: Akkumulatoren werden geladen und liefern Strom für einen Elektromotor auf der Propellerwelle, oder eine Zentralstation erzeugt Strom zum Antrieb des Motors. Es ist der Akkumulatorenindustrie noch nicht gelungen, einen Akkumulator von solcher Leichtigkeit, Dauerhaftigkeit und einem solchen Preis herzustellen, daß seine Verwendung für größere Schiffsanlagen ernstlich in Frage käme; wohl ist er bei kleinen Anlagen, z. B. Vergnügungsfahrzeugen, mit mehr oder weniger Erfolg schon angewandt worden. Bessere Aussichten für die Zukunft läßt die zweite Art des Antriebs erwarten, um so mehr, als ähnliche Anlagen bei Unterseebooten typisch geworden sind und sich bestens bewährt haben. Die elektrische Zentrale erhält Dampfturbinen oder Gasmaschinen zum Antrieb der Dynamos, die den Strom für einen langsam laufenden Elektromotor an der Propellerwelle liefern. Solche Anlagen kämen für alle Arten Fracht- und Passagierschiffe in Frage, und der Elektromotor wirkt hier als Tourenverminderer, so wie es die auf Seite 143 besprochenen Transformatoren für Turbinenantrieb tun. Solche Anlagen sind zurzeit für amerikanische Schiffe in Bau. Zu nennen wäre hier auch noch das System del Proposto, bei dem ein Gasmotor für die normale Vorwärtsleistung den direkten Antrieb des Propellers besorgt, hingegen bei Rückwärtsfahrt und beim Manövrieren eine Dynamomaschine von verhältnismäßig kleiner Leistung antreibt, die den Strom für einen auf der Propellerwelle sitzenden Elektromotor liefert. Aber auch diese Anordnung, die gewisse ökonomische Vorteile bietet, leidet an Komplikation, Gewichts-, Raum- und Kostenvermehrung.

5. DIE PROPELLER

Am Ende des 19. Jahrhunderts, schon vor Einführung der Dampfturbine zum Schiffsantrieb, war das Anwendungsgebiet der beiden Propeller Schaufelrad und Schraube genau getrennt; das Rad war aus der Seefahrt verdrängt, und seine Anwendung beschränkte sich, gewisse Sonderfälle ausgenommen, auf jene Schiffe, bei denen ein geringer Tiefgang bzw. eine im Verhältnis zur Tauchung große Leistung vorhanden war. Deshalb findet man heute Schaufelräder bei Fluß- und Binnenseeschiffen (Personen- und Schleppdampfern) und bei solchen Fahrzeugen, die an der Küste über flaches Wasser fahren sollen (z. B. für die Fahrt Bremen—Norderney). Die Räder verlangen zufolge ihrer Konstruktion und Größe eine relativ sehr niedrige Tourenzahl (30—60), und ihre Anwendung führt demgemäß zu schweren Maschinen. Bei großen Leistungen sind diese Räder mit Rücksicht auf einen hohen Nutzeffekt mit beweglichen Schaufeln versehen; beim Eintauchen und Austauchen der festen Schaufeln ergibt sich nämlich ein Stoß aufs Wasser, der neben anderem auch einen bedeutenden Effektverlust zur Folge hat

und nur in jenen Fällen zugelassen werden kann, wo die Wirtschaftlichkeit der Anlage nicht in Betracht kommt oder die Konstruktion der beweglichen Schaufeln eine unerwünschte Komplikation und Verteuerung der Anlage bedeuten würde. Die großen

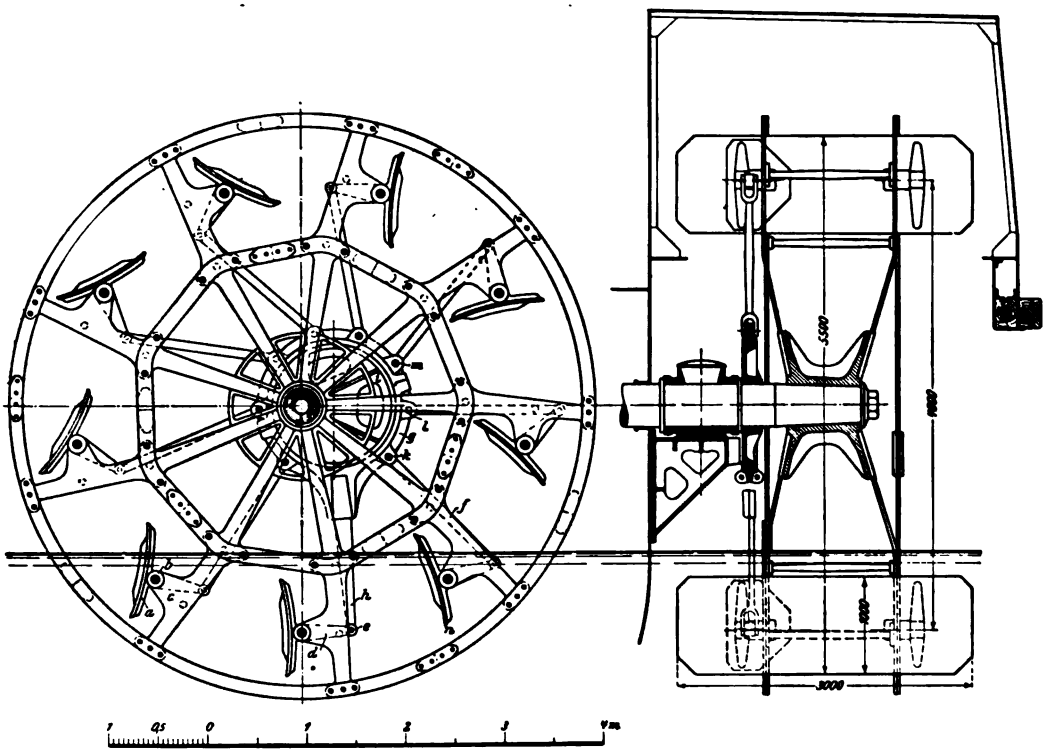


Abbildung 126. Schaufelrad mit beweglichen Schaufeln der Räderfähre „Friedrich Franz IV.", gebaut 1901 von F. Schichau, Elbing. Maschinenleistung 2500 I. P. S. bei 42 minutlichen Umdrehungen, Geschwindigkeit 14 Knoten. Die Schaufeln a sind um Zapfen b drehbar, die in den Radarmen c gelagert sind. Jede Schaufel ist an einem Hebel d, dessen Drehpunkt b ist, befestigt. Der Endpunkt e dieser Hebel steht durch Stangen f in Verbindung mit einem exzentrisch zur Radwelle gelagerten Ring g, der durch den Hauptlenker h bei der Drehung des Rades ebenfalls zu einer Drehung um die feststehende Exzenterscheibe i gezwungen wird. Diese Drehung von g und damit der Zapfen k, l, m bewirkt eine Bewegung der Schaufeln um ihren Drehpunkt b derart, daß sie beim Eintauchen ins Wasser und beim Austauchen aus demselben mit ihrer scharfen Kante n ohne Stoß ins Wasser und aus demselben treten, wodurch der Wirkungsgrad des Rades erhöht wird.

Mississippidampfer, bei uns kleine Flußdampfer führen solche festen, meist hölzernen Schaufeln. Im Gegensatz dazu haben alle größeren Räderschiffe Räder mit beweglichen Schaufeln (Abbildung 126). Solche Räder werden in Durchmessern bis zu 9 m und mit Schaufelbreiten bis zu $4\frac{1}{2}$ m ausgeführt.

Dort, wo besondere Verhältnisse des Fahrwassers, der Brücken eine Vergrößerung der Schiffsbreite durch die seitlich angebrachten Schaufelräder nicht zulassen, gelangt das Hinterrad zur Anwendung, das, hinten am Schiff angebracht, eine geringere Breite als das Schiff besitzt, aber diesen Vorteil durch einen schlechten Wirkungsgrad erkauft, weil der Wasserzufluß durch das vor dem Rade fahrende Schiff wesentlich ungünstig beeinflußt wird.

Wenn, wie es vereinzelt bei russischen Flußdampfern vorgekommen ist, Gasmaschinen zum Antrieb des Räderschiffs vorgesehen werden, so muß mit Rücksicht auf die geringe Tourenzahl des Rades ein ins Langsame übersetzendes Rädergetriebe eingeschaltet werden.

Der Schraubenpropeller oder die Schiffsschraube, dieser weitaus wichtigste Treibapparat, hat in achtzigjähriger Entwicklung eine ziemlich bestimmte, typische Form angenommen. Die vielen Bestrebungen, durch mehr oder weniger einschneidende Veränderungen der wirksamen Fläche, der Flügelform, Verbesserungen zu erzielen, haben zu gar keinen oder negativen Erfolgen geführt. Und so baut man heute den Propeller fast allgemein als mathematische Schraubenfläche, bei der jeder Punkt des Flügels dieselbe Steigung besitzt; die Erzeugende stellt man entweder senkrecht zur Achse, wie bei allen schnellaufenden, also auch den turbinenangetriebenen Propellern, oder man gibt ihr bei langsamer laufenden, größeren Schrauben eine Neigung nach rückwärts. In Richtung der Welle gesehen haben die Flügel eine ei- oder ellipsenähnliche Form, wobei die kleine Achse der Ellipse je nach der spezifischen Belastung* eine größere oder geringere Breite erhält.

Kaum ein anderes Maschinenelement hat eine ähnlich umfangreiche Literatur hervorgerufen wie die Schiffsschraube. Die bedeutendsten Mechaniker und Schiffbauer aller Nationen haben sich darin versucht, befriedigende Theorien für die Wirkungsweise und Berechnung dieses Treibapparats aufzustellen, umfangreiche und kostspielige Versuche in den Schiffbaulaboratorien Englands, Deutschlands und Amerikas haben manche wertvollen wissenschaftlichen Resultate gezeitigt; daneben hat aber auch eine Legion Unberufener die Patentliteratur mit unfruchtbaren Ideen gefüllt, Laien, die dem Schiffbau, dem Propeller und seiner Wirkung kenntnislos gegenüberstehen, haben Formen des Propellers „erfunden", die entweder schon lange als ungeeignet verworfen oder von Haus aus unsinnig waren. Da aber der Propeller heute in demselben Maße noch das Interesse von Nichtfachleuten zu erregen scheint, so ist wenig Aussicht vorhanden, daß diese trübe Quelle so bald versiegt. Das Problem ist eins der schwierigsten; die Wasserbewegung am Hinterschiff ist durch die Saugwirkung des Schiffes und die Reibung der Wasserfäden an der Schiffswand gestört und entzieht sich einst-

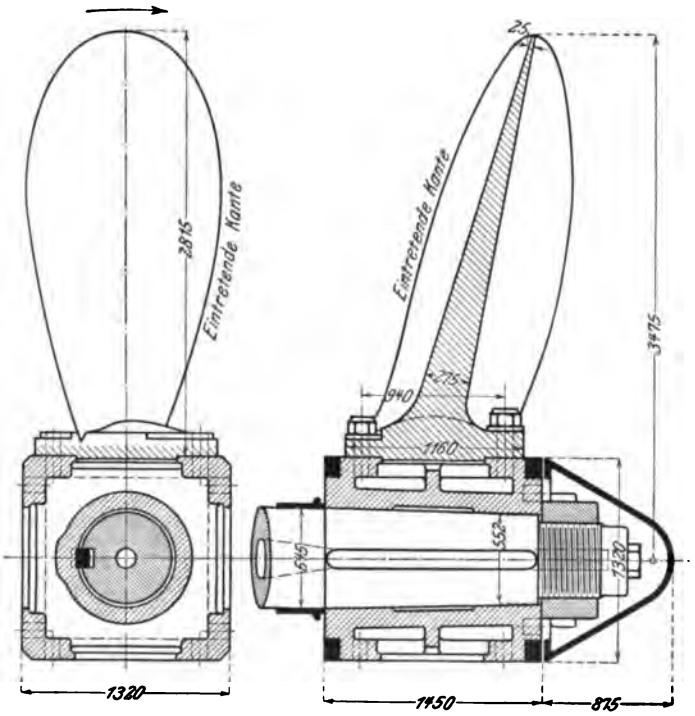


Abbildung 127. Schraubenpropeller des Norddeutschen-Lloyd-Schnelldampfers „Kaiser Wilhelm II.". Die linke Zeichnung zeigt einen Schnitt durch die Nabe und einen von den vier Flügeln in Ansicht, die rechte Zeichnung einen Schnitt durch die Schraube in Längsrichtung des Schiffes und die Befestigung des Schraubenflügels an der Nabe mittels Schraubenbolzen. Gewicht des vierflügeligen Propellers mit Nabe 30 t.

* Unter spezifischer Belastung ist hierbei der Quotient $\frac{\text{Widerstand des Schiffes}}{\text{projizierte Fläche aller Flügel}}$ verstanden. Die spezifische Belastung ist nach oben begrenzt durch die Seite 137 erklärte Erscheinung der Kavitation, die den Wirkungsgrad des Propellers bedeutend herabsetzt.

weilen einer zu brauchbaren Resultaten führenden mathematischen Behandlung. Solange diese Vorgänge durch gründlichste Versuche nicht weiter geklärt werden, sollten es mathematisch gewandte, aber schiffbaulich unerfahrene „Nur-Theoretiker" besser vermeiden, Theorien aufzustellen, die vielleicht „sehr elegant", aber anderseits gänzlich wertlos sind. Nur das groß angelegte Experiment und Untersuchungen, die die Wasserbewegung z. B. mit Hilfe der photographischen Platte festhalten und analysieren und darauf eine gesunde Theorie aufbauen, können hier einen erfolgreichen Schritt bedeuten. Aber auch dann bleibt noch eine Schwierigkeit bestehen, aus solchen im kleinen durchgeführten Versuchen sichere Schlüsse auf die Erscheinungen der Wirklichkeit am ausgeführten Schiff zu ziehen. Wenn wir heute Propeller mit 75 % und mehr Wirkungsgrad* bauen, so geschieht das rein erfahrungsgemäß.

Abbildung 128. Ein Schraubenflügel für den Schnelldampfer „Kaiser Wilhelm II.", aus Stahlbronze gegossen von Fried. Krupp, Essen. Gewicht 5 t. Materialfestigkeit 45—55 kg/qmm, 18—30 % Dehnung.

Anderseits bewegt sich, wie weiter oben ausgeführt, die Entwicklung der Kraftmaschine in der Richtung schnellaufender rotierender Maschinen (Dampfturbinen, Gasturbinen), und deswegen erscheint es richtiger, das Problem nicht in dem Anpassen des schnellen Motors an eine langsam laufende Schraube, vielmehr in der Schaffung eines für höchste Tourenzahlen geeigneten Propellers zu suchen; deswegen sei hier auf den schon wiederholt aufgegriffenen hydraulischen Reaktionspropeller hingewiesen; frühere Versuche sind zwar mißlungen, lassen jedoch neue Angriffe des Problems nicht aussichtslos erscheinen, da wir heute raschlaufende mehrstufige Schleuderpumpen mit sehr hohem Wirkungsgrad zu bauen imstande sind; das dürfte eine brauchbare Lösung in engere Nähe rücken. Wir haben das Analogon in der Dynamomaschine, die für den Antrieb durch eine Kolbenmaschine niedriger Tourenzahl in ihrer Konstruktion gehemmt war, bis die Dampfturbine Befreiung von drückender Fessel brachte, ihr jene hohe Tourenzahl ermöglichte, die ihrer Eigenart zukommt.

Bei kleineren Ausführungen werden die Propellerflügel mit der Nabe aus einem Stück gegossen; bei größeren Ausführungen werden die Flügel besonders hergestellt und mit der würfel- oder kugelförmigen Nabe durch Schraubenbolzen verbunden, wie es Abbildung 127 zeigt. Diese Verbindung hat den Vorzug, die Auswechslung eines schadhaft gewordenen Flügels zu ermöglichen und durch eine Verdrehung des Flügels auf der Nabe eine Änderung der Schraubensteigung zu bewirken. Das Flügelmaterial ist Gußeisen für normale Handelsschiffspropeller in Größen bis zu 2 m, für alle größeren Ausführungen Stahlguß, bzw. für alle hochtourigen Propeller (Motorboote,

* Wirkungsgrad $= \frac{\text{Schiffswiderstand} \times \text{Schiffsgeschwindigkeit}}{\text{Bremsleistung der Maschine.}}$

Barkassen, Kriegsschiffe) Bronze. Abbildung 128 zeigt einen einzelnen aus Stahlbronze gegossenen Flügel des Schnelldampfers „Kaiser Wilhelm II."

Bei Schiffen, deren geringer Tiefgang den für die Leistung notwendigen Schraubendurchmesser nicht zuläßt, und bei denen anderseits die Anwendung eines Seiten- oder Heckrades sich ausschließt, kann man mit Erfolg den von Thornycroft erfundenen Turbinenpropeller anwenden, der aus einem rasch rotierenden Schraubenpropeller kleinen Durchmessers und einem dahinter angebrachten Leitschaufelapparat besteht.

6. DER BAU UND BETRIEB DER SCHIFFSMASCHINEN

Die Grundlage für den Maschinenentwurf bildet die Ermittlung der für eine bestimmte Geschwindigkeit des zu erbauenden Schiffes notwendigen Maschinenleistung. Diese Ermittlung kann auf rechnerischem Wege erfolgen, dies genügt aber dann nicht, wenn es sich um die Beurteilung eines neuen Schiffstyps mit wesentlich anderer Geschwindigkeit handelt. Dann muß der Schleppversuch mit dem Schiffsmodell stattfinden, worüber auf Seite 96 das Erforderliche gesagt ist. So gelangt man zu den Nutzpferdestärken der Maschine und kann daraus auf die in den Maschinen bzw. Turbinen zu entwickelnden Pferdestärken, die indizierten Pferdestärken, schließen. Aus diesen rechnet man die notwendigen Dimensionen der Maschine, Anzahl, Durchmesser der Zylinder und Hub der Kolbenmaschine oder des Ölmotors bzw. Stufenzahl und Durchmesser der Turbinen.

Die am meisten angewandten Materialien des Schiffsmaschinenbaues sind Gußeisen, Stahlguß, Flußeisen (Flußstahl) und Bronze, daneben auch noch für hoch beanspruchte Teile besondere Materialien hoher Festigkeit, wie Nickelstahl, Manganbronze u. a.

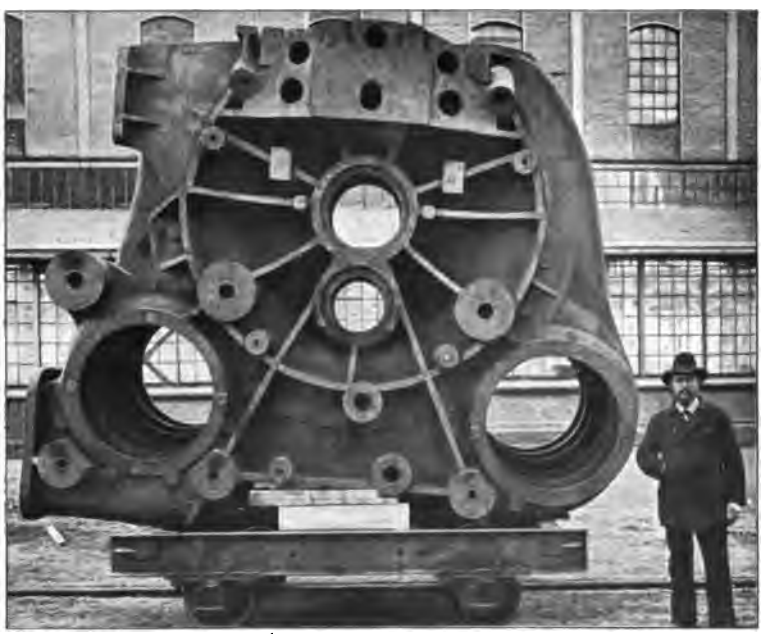


Abbildung 129. Niederdruckzylinder einer Linienschiffsmaschine, gegossen von der Fried. Krupp A.-G. Germaniawerft, Kiel. Zylinderdurchmesser 2240 mm, Hub 1000 mm, Gewicht 23 t.

Die Kesselhüllen sind meist Siemens-Martinflußeisen mit einer mittleren Festigkeit von 45 kg/qmm und einer Dehnung von 20—25 %. Diese von den Hüttenwerken in maximalen Dimensionen: 18000 × 3900 × 36 mm, gelieferten Bleche (entsprechend einem Gewicht von 19 t) erfahren in den Kesselschmieden weitere Bearbeitung, indem sie durch Walzen in zylindrische Form gebracht werden; die kreisrunden Bodenbleche werden durch Flanschmaschinen hydraulisch gekrempt, dann werden die für die einzelnen Teile notwendigen Nietlöcher gebohrt und die Nietverbindung hydraulisch oder von Hand ge-

schlossen. Die Siede- und Flammrohre werden eingezogen und befestigt, und zuletzt durch eine Wasserdruckprobe die Dichtigkeit der Konstruktion geprüft; dabei ist der Probedruck um 5 Atm. höher als die Betriebsspannung.

Die sich nicht bewegenden Teile der Maschine: Maschinengestell, Lager, Grundplatte, Turbinengehäuse, sind meist, die Dampfzylinder stets aus Gußeisen. In Fällen hoher Beanspruchung bzw. geringen Gewichts sind die erstgenannten aus Stahl (Siemens-Martinflußeisen) gegossen. Diese Gußstücke zählen mit zu den größten Erzeugnissen der Gießereitechnik; so zeigt Abbildung 129 den gußeisernen Niederdruckzylinder einer Linienschiffsmaschine als rohes Gußstück im Gewicht von 23 t, Abbildung 130 den Rohguß eines Niederdruckturbinengehäuses aus Stahlguß. Im Gegensatz zu diesen ruhenden Teilen der Maschine sind die hin- und hergehenden bzw. rotierenden: Kolben und alle Übertragungswellen der Kolbenmaschinen, die Räder der Dampfturbinen, aus Stahl geschmiedet; Kurbel- und Laufwellen sind aus einzelnen untereinander auswechselbaren Teilen hergestellt. Abbildung 131 zeigt die Kurbelwelle des Schnelldampfers „Deutschland" der Hamburg-Amerika-Linie.

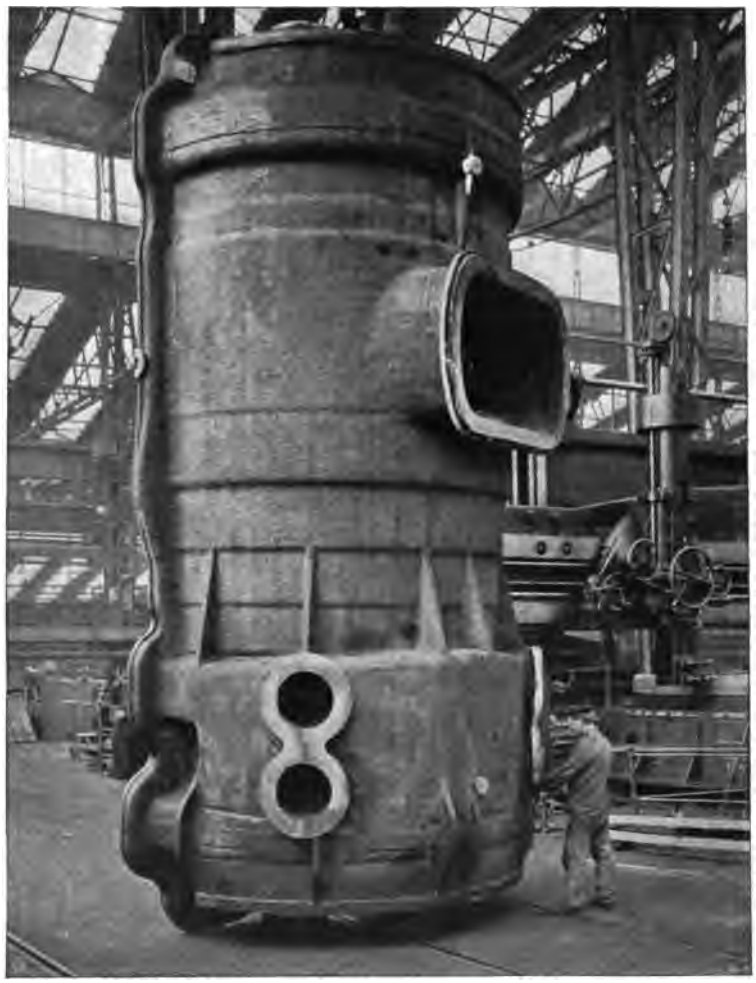


Abbildung 130. Gehäuse einer Niederdruck-Schiffsturbine, gegossen von Fried. Krupp, Essen.

Bei den meisten Schiffsturbinensystemen ist der rotierende Teil als Trommel ausgebildet, in deren Umfang die Schaufeln eingesetzt sind. Diese Trommeln sind aus Stahl flüssig gepreßt oder aus Stahl geschmiedet bzw. wie Rohre nahtlos gewalzt. Eine solche Turbinentrommel von 53 t Schmiedegewicht zeigt Abbildung 132.

Eine Reihe besonderer Arbeitsprozesse erfordert die Herstellung der vielen tausend Schaufeln einer Dampfturbine. Diese Schaufeln werden aus Draht von sichelförmigem oder ähnlichem Querschnitt hergestellt, in passenden Längen abgeschnitten, zu Segmenten zusammengesetzt, die dann zu vollen Ringen vereinigt in der Trommel bzw. im Gehäuse befestigt werden (Abbildung 133).

Die Abbildungen 134 und 135 geben einen Einblick in die Schiffsmaschinenwerkstätten der Firmen Schichau, Elbing und Krupp-Germaniawerft, Kiel, in denen die einzelnen Guß- und Schmiedeteile auf verschiedenen Werkzeugmaschinen einer Bearbeitung unterzogen werden, bis sie für die Montage bereit sind. Diese Montage findet in großen Hallen statt, wo auf einer soliden eisernen oder gemauerten Unterlage die Maschine aufgebaut wird; Stück für Stück wird zur fertigen Maschine zusammengefügt. Dabei ergeben sich viele Nacharbeiten, die zum Teil von Hand, zum Teil wieder maschinell ausgeführt werden, und es müssen auch die späteren Betriebsverhältnisse, Veränderungen durch die Wärme und andere Einflüsse berücksichtigt werden. Das bedingt wohlüberlegte, sorgfältigste Arbeit mit Feintastern und Mikrometern von 10tel mm Genauigkeit. Das streift schon das Gebiet der Feinmechanik und bildet für den Laien einen Kontrast zu den gigantischen Dimensionen der Maschinen und ihren vieltausendpferdigen Leistungen.

Solange nur Kolbenmaschinen gebaut wurden, lag eine Notwendigkeit, die fertigen Maschinen vor Einbau ins Schiff am Lande zu probieren, nicht vor, weil die allmähliche Entwicklung der Kolbenmaschine den Konstrukteuren eine solche Sicherheit gegeben hatte, daß Fehlschläge so gut wie ausgeschlossen waren.

Das Bild wurde jedoch ein anderes, als die Dampfturbine sich mit Macht in den Schiffbau eindrängte und ein großes Gebiet für sich beanspruchte, auf dem bis dahin die Kolbenmaschine allein geherrscht hatte. Die Turbinenkonstruktion war naturgemäß noch nicht so ausgereift und sicher wie die hundert Jahre alte Kolbenmaschine, und so entschloß man sich, vor dem kostspieligen definitiven Einbau ins Schiff die Turbinen auf dem Lande zu erproben, und baute Versuchsfelder, auf denen die Turbinen — und dasselbe gilt auch für Schiffsgasmaschinen — einer längeren gründlichen Erprobung unterzogen werden; es finden Leistungsbestimmungen, Ermittlungen

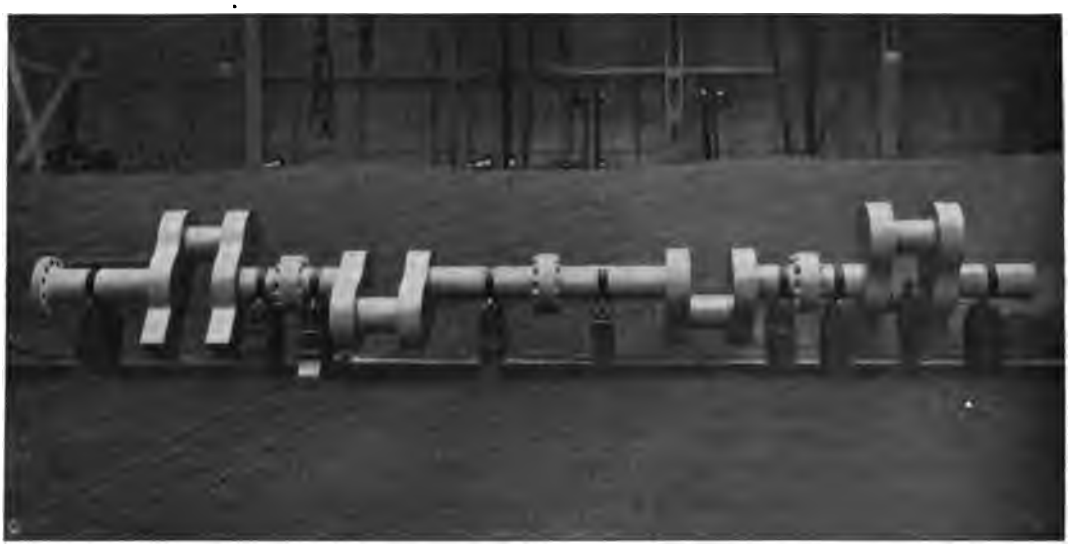


Abbildung 131. Kurbelwelle des Schnelldampfers „Deutschland" der Hamburg-Amerika-Linie. Diese Welle von 635 mm Durchmesser und über 18 m Länge ist von Fried. Krupp-Essen aus Nickelstahl von 63 kg/qmm Festigkeit und 22% Dehnung hergestellt. Gewicht 101,5 t.

des Dampfverbrauchs und sonstige Messungen statt, aus denen sich eventuelle notwendige Änderungen erkennen und vor Einbau der Turbine ins Schiff vornehmen lassen. Bei diesem Arbeiten der Maschine im Versuchsfeld müssen die Verhältnisse;

wie sie später der Bordbetrieb ergibt, möglichst angenähert hergestellt werden; es muß also u. a. die Turbine mit voller Belastung und jener Tourenzahl arbeiten, die der forcierten Fahrt des Schiffes entspricht. Da ihr jedoch beim Arbeiten auf dem Lande der Widerstand der Schraube, des Schiffes fehlt, müssen zur Vernichtung dieser Arbeit, die unter Umständen 15000 bis 20000 P.S. betragen kann, besondere Vorkehrungen getroffen werden. Das geschieht mittels Bremsen, die für solche großen Leistungen als Wasserbremsen ausgeführt werden: gelochte Stahlscheiben, die auf der verlängerten Turbinenwelle sitzen, rotieren im Wasser und vernichten auf solche Weise die von der Turbine erzeugte Arbeit. In Abbildung 136 sind die Turbinen eines Torpedoboots auf dem Versuchsfeld der A.-E.-G. zu sehen.

Abbildung 132. Turbinentrommel, geschmiedet von Fried. Krupp, Essen. Durchmesser vorn 3335 mm, Durchmesser hinten 2275 mm, Länge 2700 mm, Schmiedegewicht 53 t.

Die Ermittlung der Leistung einer Kolbenmaschine geschieht mittels des Indikators, der ein Bild von der Arbeit des Dampfes im Zylinder, ein sogenanntes Indikatordiagramm, zeichnet. Einen solchen Apparat kann man bei der Turbine nicht anwenden; man ermittelt vielmehr die Turbinenleistung in der Weise, daß man die an die Welle abgegebene Leistung (Wellen- oder Torsions- oder Bremspferdestärken genannt) mißt. Im Prinzip beruhen solche Apparate auf dem Gedanken, die Verdrehung zu ermitteln, die ein Wellenstück von bestimmter Länge erfährt, wenn das Drehmoment der Maschine hindurchgeleitet wird; aus dieser Verdrehung und den elastischen Eigenschaften des Materials schließt man auf das Drehmoment und erhält bei bekannter Tourenzahl die gesuchten Wellenpferdestärken der Turbine.

Die fertigen und erprobten Maschinen und Kessel werden mittels feststehender oder Schwimmkrane ins Schiff gesetzt; bei den allergrößten Anlagen muß, da das Gesamtgewicht zu groß ist, ein abermaliges Zerlegen der Maschine vor dem Einsetzen

und nachheriges Wiederzusammenbauen im Schiff stattfinden. Die Maschinen sind mit demjenigen Teil der Schiffskonstruktion, den man als Maschinenfundament bezeichnet, durch Schrauben fest verbunden.

Nach dem Einsetzen der Maschinen und Kessel werden die Rohrleitungen verlegt, die bei großen Dampfern häufig Ausdehnungen von mehreren Kilometern besitzen und nicht nur zur Förderung von Wasser und Dampf für den Hauptmaschinenbetrieb, sondern auch für die vielen Nebenbetriebe dienen: für die Speisung der Hilfsmaschinen, zum Lenzen, für die Bequemlichkeit der Passagiere und Mannschaft, zum Kochen, Heizen, Kühlen. Das Material dieser Rohre, soweit sie hohen Druck enthalten, ist heute meistens Stahl, bei kleineren Rohren Kupfer; bei sehr langen Rohrleitungen, die im Betriebe bis 300gradigen Dampf enthalten, müssen Expansionsstücke, Stopfbüchsen und Gelenkstücke in die Rohrleitung eingebaut werden, um schädliche Spannungen, die sonst zu schweren Havarien und Katastrophen führen könnten, zu vermeiden.

Aus Abbildung 98 ist die bedeutende Höhe großer Schiffsmaschinen zu entnehmen; sie beträgt von Unterkante Grundplatte bis zur Oberkante des oberen Zylinders 12 m, entsprechend der Höhe bis zum dritten Stockwerk eines modernen Hauses. Ein solcher Bau muß, um an die einzelnen Teile herantreten und sie beobachten zu können, ebenso wie ein Haus mit Treppen und Podesten versehen sein. So bauen sich sechs bis acht Etagen, durch Treppen miteinander verbunden, im Maschinenraum übereinander. Die Podeste dürfen, um dem tiefliegenden Maschinenraum genügendes Licht zuzuführen, nicht als feste Plattformen, müssen vielmehr als Eisen-

Abbildung 133. Herstellung der Leitschaufelsegmente für eine Schiffsturbine auf der Fried. Krupp A.-G. Germaniawerft, Kiel.

gitter, sogenannte Grätings, ausgebildet sein; des Seegangs wegen sind diese Podeste mit Schutzgeländern versehen.

Für den projektierenden Schiffbauer ist es von größter Wichtigkeit, das genaue Gewicht der Maschinenanlage zu kennen, um einen Anhalt für spätere ähnliche An-

Abbildung 134. Montagewerkstätte für Schiffsturbinen von F. Schichau, Elbing.

lagen zu gewinnen. Dieses Gewicht nach den Zeichnungen der einzelnen Teile festzustellen, würde einmal eine ungeheure Rechenarbeit erfordern, anderseits doch nicht richtig sein und endlich voraussetzen, daß alles bereits gezeichnet ist, was bei dem Entwurf einer Maschinenanlage nicht der Fall sein kann. Man ist also gezwungen, von vorhandenen fertigen Anlagen auf das zu erwartende Gewicht einer Neuanlage zu schließen, und läßt deswegen meistens — im Kriegschiffbau immer — alle an Bord gebrachten Teile wiegen und diese Zahlen in Gewichtslisten eintragen.

Jetzt ist die Maschine betriebsbereit, und das Schiff kann mit seinen Probefahrten beginnen. Diese Probefahrten sollen nachweisen, daß die Bedingungen des Baukontrakts erfüllt sind, insbesondere daß die verlangte Geschwindigkeit und der vorgeschriebene Kohlenverbrauch eingehalten werden und überhaupt die Anlage den Anforderungen des normalen Betriebes entspricht.

Die Geschwindigkeit wird durch Auf- und Abfahren an gemessenen Meilenstrecken bestimmt; die auf die Rosten geworfene Kohle wird gemessen und mittels Indikatoren die Leistung der Maschine ermittelt; bei Kriegsschiffen spielt der Aktionsradius eine große Rolle, und es ist deshalb von Wichtigkeit, die Maschinenleistungen bei verschiedenen Schiffsgeschwindigkeiten zu kennen: dazu dienen die Progressivfahrten. Eine sechs- oder mehrstündige forcierte Fahrt, bei der die Maximalgeschwindigkeit eingehalten wird, soll den Beweis erbringen, daß die Maschinenanlage den hohen Anforderungen dieses anstrengendsten Betriebes gerecht wird, ohne daß sich Mängel an der Anlage einstellen.

Daneben gibt es bei Torpedobooten z. B. auch noch Sturmfahrten, die bei Windstärke 10 und entsprechendem Seegang ausgeführt werden, um das Verhalten des

Bootes und seiner Maschine bei schwerem Wetter zu erproben. Bei Handelsschiffen wird gewöhnlich nur eine Probefahrt zwecks Ermittlung der Höchstgeschwindigkeit bzw. der Höchstleistung ausgeführt; für Schnelldampfer ist die erreichte Ozeangeschwindigkeit bestimmend für die Erfüllung des Bauvertrags.

Nach günstiger Erledigung der Probefahrten wird das Schiff gewöhnlich gedockt und dann seinem regelmäßigen Betrieb übergeben.

Der Nichtfachmann macht sich meist ein unrichtiges Bild von einem solchen Maschinenbetrieb auf See, denn er bedenkt nicht, daß für den Betrieb der Ma-

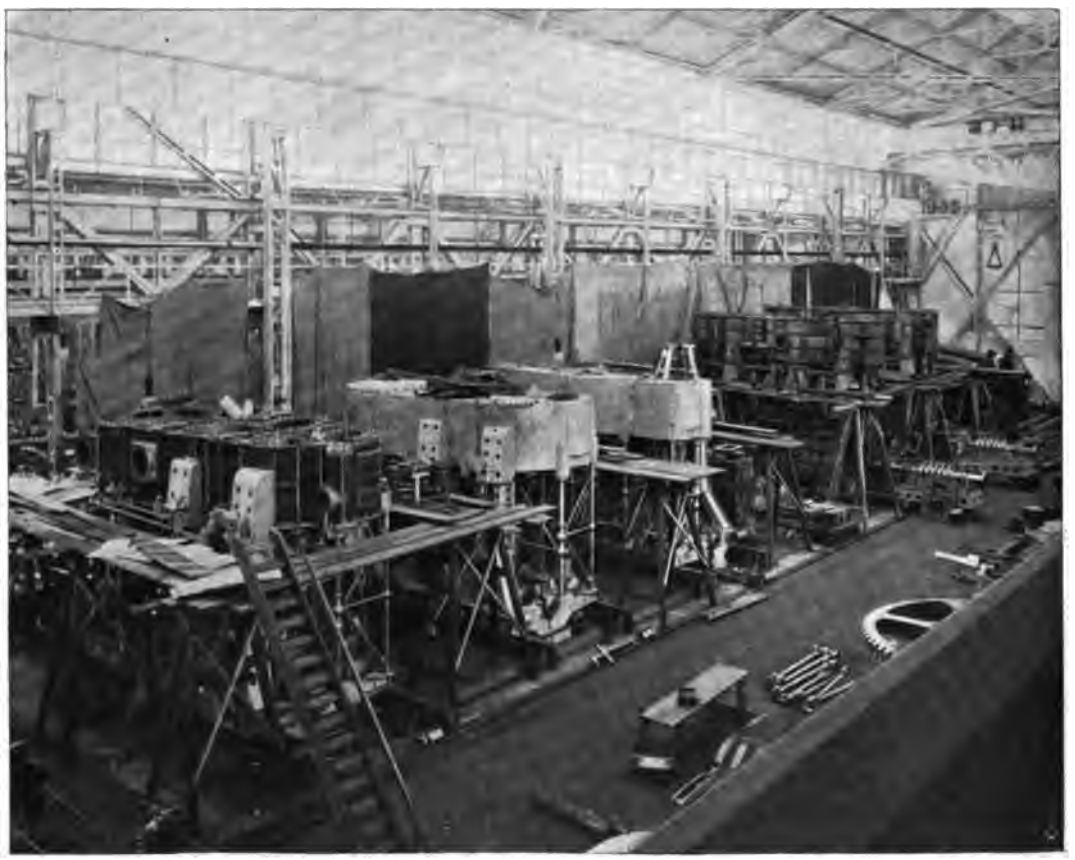


Abbildung 135. Drei Maschinen des Linienschiffes „Deutschland" in der Montagewerkstätte der Fried. Krupp A.-G. Germaniawerft, Kiel. Gesamtleistung der drei Maschinen 16000 P.S.

schinen und Kessel auf einem modernen Schnelldampfer ein Personal von fast 400 Köpfen notwendig ist, das, von vier zu vier Stunden abwechselnd, im anstrengenden Dienst die Arbeit in den Maschinen- und Heizräumen versieht.

Dieser Dienst erstreckt sich nicht bloß auf Hauptmaschine und Kessel, denn für den Betrieb dieser ist selbst wieder eine große Zahl von Hilfsmaschinen und Apparaten erforderlich, von denen z. B. auf dem Schnelldampfer „Olympic" nicht weniger als 107 vorhanden sind.

Die Inbetriebsetzung der Hauptmaschine geschieht von einer Zentralstelle aus, dem Maschinisten- oder Manövrierstand (Abbildung 137). Hier sind die Handräder und Hebel vereinigt, deren Drehung das Hauptabsperrventil der Maschine öffnet und

Dampf in ihre Zylinder läßt, die Umsteuermaschine betätigt, für die Entwässerung der Zylinder sorgt, und dort sind auch jene Apparate angebracht, die Manometer, die den Dampfdruck an jeder wichtigen Stelle der Maschine sofort erkennen lassen. Bei Turbinenanlagen mit Marschturbinen sind komplizierte Ventilanordnungen erforderlich, um den Dampf bald in diese, bald in jene Turbine zu lassen.

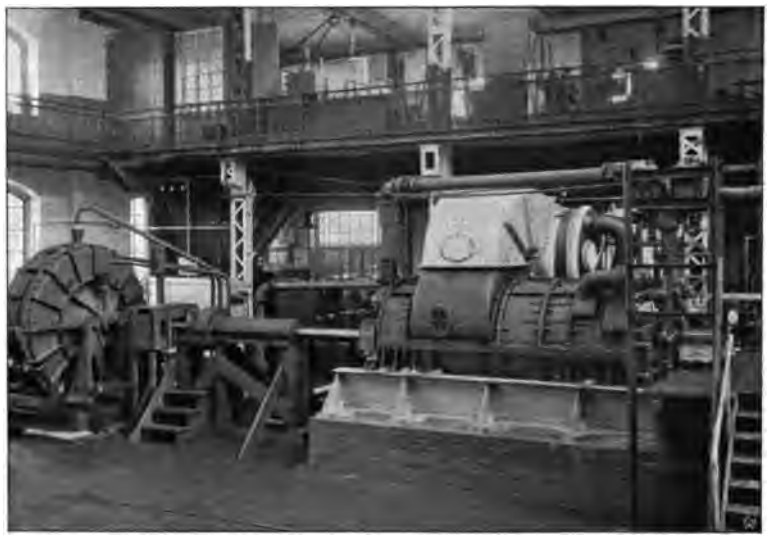


Abbildung 136. Torpedobootsturbine auf dem Versuchsfeld der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

Ein besonderes Augenmerk ist auf eine richtige rationelle Schmierung der umlaufenden Maschinenteile zu richten. Reibungen führen zu Erhitzungen, und diese zu Störungen bzw. Havarien; die Maschinenteile dürfen nicht heiß laufen, und dazu dient eine sorgfältig durchdachte Schmierung mit Ölen verschiedenster Art. Freilich kann in dieser Beziehung auch zuviel des Guten getan werden und die Lager und Zapfen triefen von Öl; das ist natürlich ebenso zu vermeiden, denn das Schmieröl ist kostbar, und die jährliche Ölrechnung unserer größten Reedereien stellt ein bedeutendes Vermögen dar. Automatische Schmierung ist an den wichtigsten Stellen vorhanden, und wenn trotz aller Vorsicht Heißlaufen eintreten sollte, dann sorgt Wasser aus einer besonderen Kühlleitung dafür, daß die Maschinenteile wieder ihre Normaltemperatur annehmen.

Abbildung 137. Maschinistenstand des Dampfers der Hamburg-Amerika-Linie „Kaiserin Auguste Victoria".

Wenn auch der Heizraum infolge der schärferen Ventilation im allgemeinen kühler ist als der Maschinenraum, so ist doch die Bedienung der Feuer (Abbildung 138), das Beschicken der Roste mit Kohlen, das Reinigen der Feuer, d. h. Entschlacken der Roste, eine viel anstrengendere Arbeit als der Maschinenbetrieb. Bei einem großen Ozeanschnelldampfer

müssen von dem Heizerpersonal etwa 50 Tonnen, also 1000 Zentner Kohle stündlich aufgeschaufelt, auf die Roste geworfen und dort verteilt werden.

Es sind Vorrichtungen ersonnen worden, um die Arbeit des Heizens wenigstens teilweise zu ersetzen, und auf dem Lande haben sich mechanische Rostbeschickungen eingeführt und gut bewährt; aber auf See liegen die Verhältnisse ungünstiger, und man ist nach wie vor auf den Handbetrieb angewiesen. In dieser Beziehung bedeutet die Einführung der Gas- und Ölmaschinen eine bedeutende Ersparnis an Arbeit bzw. Menschenmaterial.

Abbildung 138. Blick in einen der Heizräume des Dampfers der Hamburg-Amerika-Linie „Kaiserin Auguste Victoria".

Bei einem aus so vielen Einzelteilen bestehenden motorischen Komplex läßt es sich nicht vermeiden, daß länger andauernde oder kurz vorübergehende Störungen des Betriebes eintreten, wobei Teile der Anlage ihre Arbeit nur unvollkommen ausführen, eventuell ihren Dienst auch ganz versagen. Wie jedes Menschenwerk, ist auch dieser Wunderbau moderner Maschinentechnik, die Schiffsmaschine, gewissen Einflüssen unterworfen, wie natürliche Abnutzung, Mängel des Materials, mangelhafte Ausführung, die sich bei irgendeiner Gelegenheit mehr oder weniger schädlich äußern. Es kommen hinzu die durch beschränkte Raumverhältnisse erschwerte Zugänglichkeit vieler Teile, der oft wochenlang andauernde, ununterbrochene Betrieb, der Einfluß des Seeganges und als bedeutendstes Moment die im allgemeinen viel stärkere Beanspruchung der Schiffsmaschinen gegenüber den Landanlagen, die eine Folge des geforderten geringen Gewichts der Schiffsmaschine ist. Von Bedeutung ist auch noch die bei kleinen, leicht gebauten Maschinen vorhandene hohe Tourenzahl. Aber diesen Umständen zum Trotz kann man doch aussprechen, daß bei aller Komplikation unserer gewaltigen Maschinenanlagen ernstere Havarien heutzutage zu den Seltenheiten gehören; unsere Kenntnis der Vorgänge in der Maschine ist eine to tiefe, ins Detail gehende, die Materialienkunde eine so ausgebildete Wissenschaft und die Arbeitsausführung so hochvollendet geworden, daß man sich einer solchen, den Gesetzen der Bewegung unterworfenen Schiffsmaschine mit ebensolcher Sicherheit anvertrauen darf wie einem statischen, ruhenden Bauwerk.

Kesselexplosionen sind dadurch vermieden, daß man homogenes Flußeisenmaterial hoher Festigkeit einführte bzw. vom Zylinderkessel auf den Wasserrohrkessel überging; die in früherer Zeit aus Kupfer hergestellten und genieteten Dampfrohre sind heute durch nahtlos gezogene Stahlrohre ersetzt; die Schraubenwellen und die Kurbelwellen sind aus einem hochwertigen Stahl hergestellt, so daß Wellenbrüche, wie sie vor vierzig

Jahren häufig waren, äußerst selten geworden sind, und einen Maschinenzusammenbruch, wie jenen berüchtigten der „City of Paris", kann man heute als ausgeschlossen ansehen; Regulatoren und Schnellschlußventile sind zu seiner Verhütung vorhanden. An einer Turbinenanlage kann sich im allgemeinen auch kaum viel von Bedeutung ereignen; die rein rotierende Bewegung gibt ruhigere Beanspruchungen, und das Schlimmste ist ein sogenannter „Schaufelsalat", ein Zerbrechen und Durcheinandermischen aller Schaufeln, der aber keine große Gefahr für die Anlage in sich birgt, wenn auch freilich die davon betroffene Turbine zunächst außer Betrieb gesetzt ist.

Im übrigen werden für alle wichtigen, einer möglichen Havarie unterworfenen Teile nach den Vorschriften der Seeberufsgenossenschaft Reservestücke mitgeführt, die einen baldigen Ersatz des schadhaft gewordenen Teils durch einen neuen gestatten.

7. DIE HILFSMASCHINEN

Sowohl der Maschinenbetrieb selbst wie auch der Schiffsbetrieb erfordern eine große Zahl von Maschinen und Apparaten, deren richtiges Funktionieren für die Sicherheit der Fahrt von ebensolcher Bedeutung ist wie das einwandfreie Arbeiten der Propellermaschine. Diese Hilfsmaschinen haben sich im Laufe der Jahre mit den wachsenden Leistungen der Hauptmaschinen und den gesteigerten Anforderungen des Bordbetriebs vermehrt, vergrößert und damit vervollkommnet.

Entsprechend dem Zwecke, dem sie dienen, kann man die Einteilung in zwei große Gruppen vornehmen:

1. Hilfsmaschinen und Apparate für den Schiffsbetrieb.
2. Hilfsmaschinen und Apparate für den Hauptmaschinenbetrieb.

Erstere dienen seemännischen Zwecken, der Navigierung und Sicherheit des Schiffes, den Bedürfnissen der Mannschaft und Passagiere, dem Ein- und Ausladen der Fracht und anderen Schiffssonderzwecken; die zweite Gruppe enthält die notwendigen Gehilfen der Hauptmaschinen.

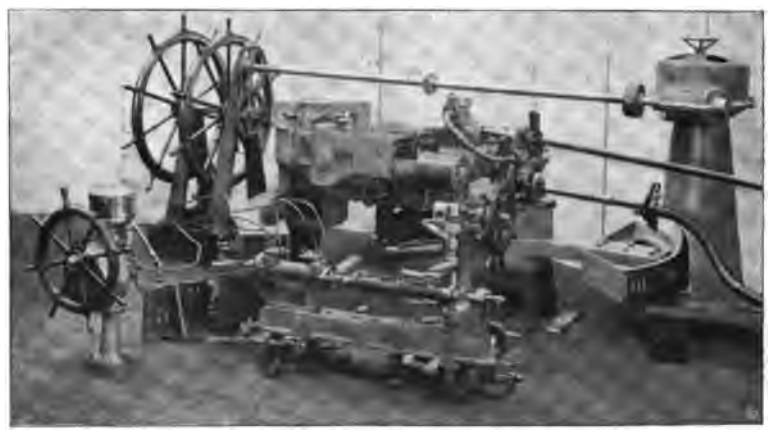


Abbildung 139. Dampfsteuerapparat mit hydraulischer Telemotoranlage für einen Handelsdampfer, gebaut von den Atlaswerken, Bremen.

Die wichtigsten der ersten Gruppe sind die das Ruder betätigende Rudermaschine oder der Steuerapparat des Schiffes (Abbildung 139) und die Pumpen zum Lenzen (Entleeren der Wasser enthaltenden Schiffsräume), die bereits auf S. 83 besprochen sind.

Für das Bedienen des Ankers, der bei modernen Riesendampfern bereits das Gewicht von 15 t erreicht hat, ebenso auch für das Verholen, d. h. Vorwärts-, Rückwärts- und Seitwärtsbewegen des Schiffes bei stillstehender Hauptmaschine, dienen Anker- und Verholspille, die auf oder unter Deck gestellt sind und fast immer mit Dampf angetrieben werden. Solche Winden müssen so dimensioniert sein, daß sie aus jeder Stellung sofort und sicher anspringen und die unberechenbaren, aber beim Betrieb unvermeidlichen Stöße ohne Schädigung ihrer Konstruktion aufnehmen können.

Die größten Beiboote, Barkassen der Linienschiffe und Kreuzer (deren Gewicht bis zu 18 t beträgt) stehen unter großen Kranen, die bei Anbordnehmen oder Zuwasserlassen des Bootes erst geschwenkt werden müssen, worauf dann das Hieven (Heißen) oder Fieren (Senken) des Bootes erfolgt. Dazu dienen Kranschwenkwerke und Bootsheißmaschinen.

Besonderer Einrichtungen bedarf der artilleristische Dienst eines Kriegsschiffes, der Munitionstransport, die Geschützbedienung, das Lanzieren der Torpedos.

Bei den Schwenkwerken der schweren Geschütze kommt Druckwasser als motorische Kraft zur Anwendung, doch dürfte es bald vollständig durch den elektrischen Antrieb verdrängt sein.

Kohlenwinden zur Übernahme von Kohle sind häufig elektrisch angetrieben, während Ladewinden gewöhnlich noch Dampfantrieb erhalten; doch findet sich bei letzteren schon häufig Hydraulik oder Elektrizität angewandt.

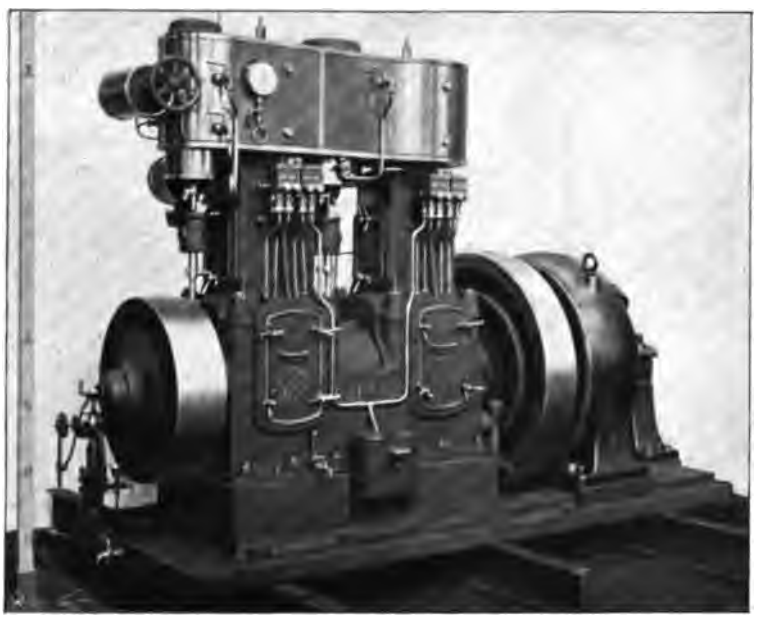


Abbildung 140. Compound-Lichtmaschine von 58 P.S. bei 360 minutlichen Umdrehungen, gebaut von den Atlaswerken, Bremen.

Zur Erzeugung von Eis, zur Kühlung des Trinkwassers, der Provianträume, und bei den Kriegsschiffen zur Kühlung der Munitionskammern, deren Temperatur höchstens 30° erreichen darf, ganz besonders aber zur Kühlung von Räumen, die leichtverderbliches Gut (Fleisch) enthalten, dienen Kühlmaschinen, die nach verschiedenen Systemen (Linde, Riedinger u. a.) gebaut werden; Salzsoole wird durch Rohre in die Kühlräume geschickt.

Die elektrische Anlage an Bord eines großen Schnelldampfers oder Kriegsschiffes entspricht häufig jener einer mittelgroßen Stadt; so sind z. B. auf der „Olympic" sechs Dynamomaschinen mit einer Gesamtleistung von 1660 KW (2250 P.S.) aufgestellt. Sie liefert Strom für die Beleuchtung aller Schiffsräume und Kraft für die elektrisch angetriebenen Ventilatoren, Pumpen und Winden, Strom für die Scheinwerfer. Zum Antrieb der sowohl für Gleichstrom wie Drehstrom gebauten Dynamos dienen bei Handelsdampfern meist noch Kolbendampfmaschinen, die wegen sauberen Betriebes häufig ganz eingekapselt und mit Druckölschmierung versehen sind (Abbildung 140). Auf modernen Kriegsschiffen werden Dampfturbinen zum Dynamoantrieb verwandt. Als Reserve für Notbeleuchtung, Signallaternen u. a. sind auch Akkumulatoren vorhanden.

Ebenso reichhaltig ist die zweite Gruppe der Hilfsmaschinen für den Hauptmaschinenbetrieb. Da sind es vor allem die für das Manövrieren der Hauptmaschinen erforderlichen Umsteuermaschinen, die entweder als Brownsche Hubmaschinen mit

nur hin- und hergehender Bewegung oder als gewöhnliche Dampfmaschinen mit rotierender Kurbelwelle ausgebildet sind.

Das Bewegen der kalten, das heißt nicht unter Dampf stehenden Hauptmaschine erfolgt bei großen Anlagen mittels einer besonderen Drehmaschine, die gewöhnlich am Ende der Kurbelwelle angeordnet ist und mittels Schnecke und Schneckenrad die langsame Drehung der Hauptmaschine bewirkt.

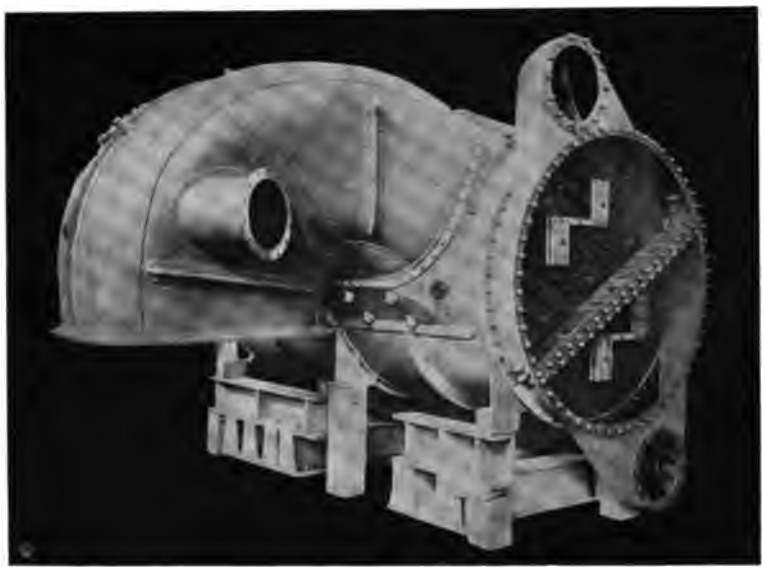


Abbildung 141. Oberflächenkondensator für eine Schiffsdampfturbine.

Für die Ventilation der Maschinenräume, ganz besonders aber für die Erzeugung von Druckluft beim forcierten Betriebe der Kessel, wie er sich bei allen Kriegsschiffen, häufig aber auch bei großen Handelsdampfern (Howdens System des vorgewärmten Unterwindes) vorfindet, dient eine große Zahl von Ventilatoren, die von kleinen Dampfmaschinen, in neuerer Zeit aber auch von Turbinen oder elektrisch angetrieben werden.

Zum Entfernen der Asche aus den Kesselräumen dienen Aschewinden und Ascheejektoren. Letztere bestehen aus einem im Heizraum aufgestellten Einwurfstrichter, in den die Asche geworfen wird; vom Boden dieses Trichters führt ein schräges Rohr nach oben und außenbord. Nach dem Einwerfen der Asche wird durch eine besondere Pumpe ein Wasserstrahl von 10—12 Atm. Druck vom Boden des Trichters durch das Rohr geschickt und reißt die Asche mit nach außenbord.

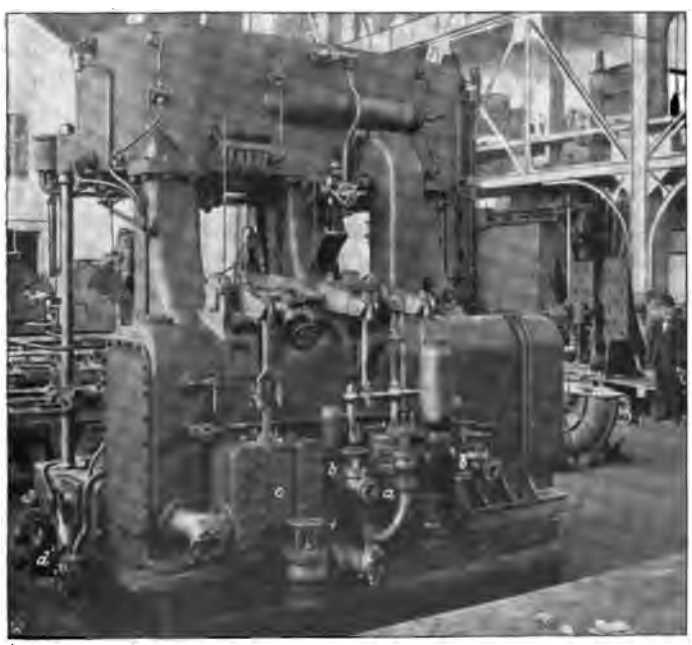


Abbildung 142. Anordnung der Pumpen bei einer Handelsschiffsmaschine. a Luftpumpe, b-b Speisepumpen, c Kühlwasserpumpe, d Lenzpumpe.

Die wichtigsten Hilfsmaschinen, die der Hauptmaschinenbetrieb erfordert, sind die verschiedenen Pumpen, die sowohl im Maschinenraum als auch in den einzelnen Heizräumen aufgestellt sind und fast ausschließlich durch Dampf angetrieben werden.

Da es unbedingt erforderlich ist, moderne Schiffskessel stets mit Süßwasser aufzuspeisen, sind alle Seeschiffsdampfmaschinen mit Oberflächenkondensation versehen, während bei Flußdampfern die Einspritzkondensation noch vorherrscht. Ein solcher Oberflächenkondensator, wie er aus Abbildung 141 zu entnehmen ist, besteht aus einem meist zylindrischen, von vielen engen Messingrohren durchzogenen geschlossenen Raum, in welchen der Abdampf aus den Kolbenmaschinen oder Turbinen strömt. Eine Kühlwasserpumpe drückt Seewasser durch die Rohre, kühlt sie auf solche Weise, während sich auf der Außenseite der kalten Rohre der Dampf niederschlägt, von dort auf den Boden des Kondensators fällt und durch die sogenannte Luftpumpe weggeschafft wird.

Die Kühlwasserpumpe oder Zirkulationspumpe ist meist, jedenfalls bei allen großen Anlagen als Schleuderpumpe ausgebildet, die durch eine besondere Kolbenmaschine, in neuerer Zeit auch durch eine Dampfturbine ihren Antrieb erhält. Die Luftpumpen, die sowohl das kondensierte Wasser wie auch die aus dem Wasser sich absondernde Luft wegzuschaffen haben, werden bei allen älteren Kolbenmaschinen und heute auch noch bei sehr vielen kleinen und mittleren von der Hauptmaschine selbst angetrieben, wobei sich als typische Anordnung der Antrieb durch einen Balancier vom Kreuzkopf der Maschine aus nach der Rückseite des Maschinengestells ergibt, wo sowohl die Luftpumpen wie auch die Speise- und Lenzpumpen, eventuell auch noch die als Kolbenpumpen ausgebildeten Kühlwasserpumpen sich befinden (Abbildung 142).

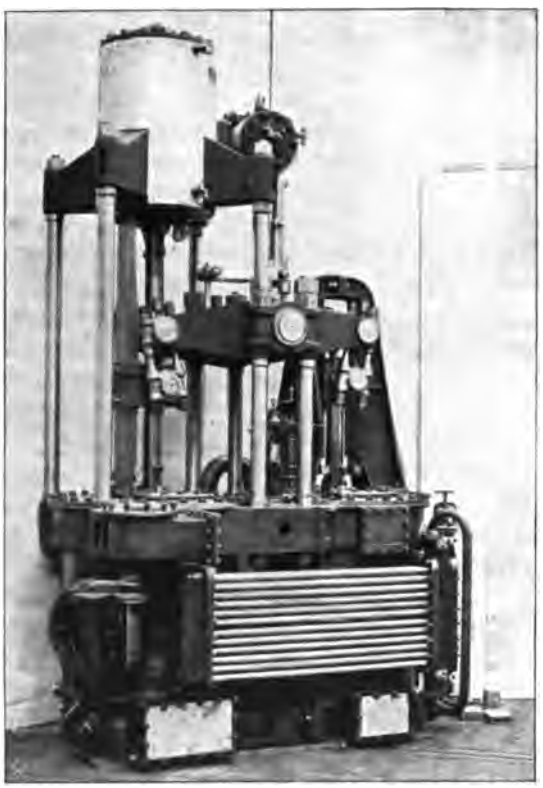


Abbildung 143. Dualluftpumpe, gebaut von den Atlaswerken, Bremen. Leistung bei 52 minutlichen Doppelhüben: 100 t in der Stunde; erzeugte Luftleere 95%.

Die wachsende Größe der Maschinenanlagen und das Bedürfnis, die Luftpumpen von dem Gang der Maschine unabhängig zu machen, führten zur Konstruktion der unabhängigen Luftpumpen (Abbildung 143), die heute fast ausschließlich mit nur hin- und hergehender Bewegung (ohne Kurbelwelle) nach den verschiedenen Systemen (Weir, Blake u. a.) ausgeführt werden, während sich mit Einführung des Dampfturbinenantriebs immer mehr das Bestreben geltend machte und heute allgemein vorhanden ist, die flüssigen Kondensationsprodukte getrennt von der im Kondensator sich bildenden Luft abzuführen, d. h. sogenannte Naß- und Trockenpumpen zu bauen. Eine solche von der A.-E.-G. gebaute Pumpe zeigt Abbildung 144. Die A.-E.-G. hatte 1908 u. a. eine komplette Torpedobootsmaschinenanlage ausgestellt, bei der Speise-, Zirkulations- und Luftpumpen durch Dampfturbinen angetrieben wurden. Auch hier zeigt sich also immer mehr das Bestreben, die rein rotierende Bewegung an Stelle der hin- und hergehenden zu setzen.

Sofern die Speisepumpen für den Kesseldienst nicht mit der Luftpumpe gemeinschaftlich angetrieben werden, sind sie unabhängig in den einzelnen Kesselräumen aufgestellt und so wie die Luftpumpen mit hin- und hergehender Bewegung ausgeführt. Das Gesetz verlangt mindestens zwei voneinander unabhängige Speisevorrichtungen, von denen jede einzelne imstande ist, das gesamte Speisewasser für die Kesselanlage zu liefern.

Abbildung 144. Vertikale Turbo-Luft- und Kondensatpumpe, gebaut von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellsch., Berlin. a Naßpumpe, b Trockenpumpe, c Antriebsdampfturbine. Leistung bei 3000 minutlichen Umdrehungen: 50 t Kondensat pro Stunde.

SCHLUSZWORT

Wenn nun am Schluß dieser Betrachtungen über die Schiffsmaschine ein Blick auf ihre voraussichtliche Entwicklung in der nächsten Zukunft getan werden soll, so muß man sich, um die Unsicherheit solcher Voraussagen zu erkennen, vor Augen halten, daß heute Probleme von grundlegender Bedeutung aufgestellt sind, deren dringend angestrebte Lösung tiefstgreifende Reformen für den Schiffsmaschinenbau bedeutet und der Frage des Schiffsantriebs neue Bahnen weisen muß. In dem scharfen Kampf der Gasmaschine gegen die Turbine und beider gegen die Kolbendampfmaschine läßt sich aber das mit ziemlicher Sicherheit erkennen, daß die Kolbenmaschine überall dort der Turbine weichen muß, wo große Einheiten und hohe Geschwindigkeiten bei geringem Gewicht verlangt werden; das ist mit verschwindenden Ausnahmen bei allen Kriegsschiffen heute schon der Fall; dann aber auch bei den großen Schnelldampfern über 18 Knoten mit Leistungen von mehr als 40000 P.S. und den eine Sonderstellung einnehmenden Kanalschnelldampfern, während sie im Kampf gegen die Turbine bei den kleinen und mittleren Frachtdampfern von 8—12 Knoten noch lange das Feld behaupten dürfte und bei diesen Schiffstypen, den bedeutenden Anstrengungen der Turbine zum Trotz, nicht ihr, sondern der sich weiterentwickelnden Ölmaschine weichen wird. Ob diese heute schon geeignet ist, ihr Anwendungsgebiet zu erweitern und auch in größte Fracht- und Passagierdampfer eingebaut zu werden, müssen die Erfahrungen der allernächsten Zukunft lehren.

Für die großen Fracht- und Passagierdampfer (bis zu 18 Knoten Geschwindigkeit) dürfte das große ökonomische Vorteile versprechende System der kombinierten Anlagen — Kolbenmaschinen mit Niederdruckdampfturbinen — Aussicht auf Einführung haben.

Alle kleinen Schiffstypen, wie Jachten, Passagierboote, Hafen- und Lotsenfahrzeuge, Fischereifahrzeuge, Barkassen und Rennboote, sind das Reich der Verbrennungsmaschine.

Für den Antrieb der größeren Flußschiffe bleibt, wenn man Komplikationen durch Rädergetriebe vermeiden will, die schrägliegende Räderschiffsmaschine immer noch

der geeignetste Motor für diese Schiffstypen geringer Tauchung, solange man keinen Ersatz für den Radpropeller hat.

Alle zukünftige Entwicklung ist aber aufs innigste mit der Frage nach dem geeigneten Propeller verknüpft, der hohe Tourenzahl mit hohem Wirkungsgrad vereinigt; gelingt es, diese Frage in günstigem Sinn zu beantworten, dann gewinnt die Lösung des Gasturbinenproblems größte Bedeutung; denn jener Antrieb des Schiffes durch eine Gasturbine mit einem hochtourigen Propeller bleibt für den Schiffbauer „ein Ziel, aufs innigste zu wünschen".

Abbildung 145. Argentinischer Torpedokreuzer „Cordoba",
gebaut 1911 von F. Schichau, Elbing.
Probefahrts-Deplacement 1160 t, Durchschnittsgeschwindigkeit 34,7 Knoten im Mittel von 6 Stunden,
Maximalgeschwindigkeit 36,8 Knoten, Turbinenleistung 25000 P.S.

KRAFTWAGEN

VON A. RIEDLER

Der Güteraustausch und das Wanderbedürfnis des Menschen durchzieht alle Zivilisation. Dem Verkehrsbedürfnis haben Jahrtausende hindurch einfache Mittel genügt: Karren, Wagen, Kähne usw., und als Triebkräfte: Menschen- und Tierkraft, Wind und Wasser. Dann hat plötzlich die Dampfkraft alles umgestaltet. Durch den Siegeslauf der Dampflokomotiven sind auch die Bestrebungen, auf Straßen mit Maschinenkraft zu fahren, zum Stillstand gekommen, obwohl der Dampfwagen auf gewöhnlicher Straße älter ist als die Lokomotive auf der Schienenbahn. Der Fahrwiderstand des Kraftwagens auf guter ebener Straße beträgt normal etwa 20 kg für je 1000 kg Fahrgewicht, auf Schienenbahnen hingegen nur etwa 4 kg. Wegen dieses einzigen Vorteils ist der gesamte Großverkehr, Menschen und Güter umfassend, unnatürlich auf wenige jetzt schon hoch überlastete Schienenstränge zusammengedrängt.

Durch die Verbrennungsmaschinen ist ein neues Gebiet erschlossen worden. Der Gasmotor, der seine Energie der Kohle entnimmt, konnte einen Fortschritt im Transportwesen nicht bringen, sondern erst der Ölmotor mit flüssigem Brennstoff ermöglichte es, ausreichenden Brennstoffvorrat für längere Fahrten mitzuführen. So konnte sich der Kraftwagen zu einem großen, wichtigen Verkehrsmittel entwickeln, beispiellos rasch, in weniger als zwei Jahrzehnten, zu einer Zeit, in der die Verkehrsfragen wichtige Lebens- und Arbeitsbedingungen des Menschen entscheiden.

Kenntnis des Kraftwagens kann nur aus den maßgebenden Grundlagen heraus gewonnen werden, nicht aber aus einem Vielerlei von maschinentechnischen Einzelheiten, die zudem besondere Sachkenntnis voraussetzen, während die Grundlagen jedem naturwissenschaftlich Gebildeten zugänglich sind. — Im Gegensatz zur Eisenbahn ist das Automobil anzusprechen als Kraftwagen auf gewöhnlicher Straße, die aber nicht für ihn gebaut, daher für rasche Fahrt schlecht geeignet ist. Trotzdem soll etwa dreimal so rasch gefahren werden als mit gleichartigem Pferdefuhrwerk. Leichtes Pferdefuhrwerk kann etwa 20 km stündliche Fahrt erreichen, aber nur wenige Stunden lang. Was darüber hinausgeht, gehört in den Bereich des Sports. Der Personenkraftwagen soll etwa 60 km stündlich fahren, aber in langen Tagesfahrten. Was darüber hinausgeht, sollte gleichfalls nur als Sport angesehen werden. Öffentliches Stadtfuhrwerk erreicht mit Pferden 10 bis 12 km, mit Motorbetrieb 25 bis 35 km. Pferdelastwagen fahren 4 bis 8 km, Kraftlastwagen 12 bis 25 km stündlich. In allen diesen Fällen ist aber die Nutzlast beim Kraftwagen wesentlich größer und die Betriebsdauer durch die Kraftermüdung nicht beschränkt. Die Verdreifachung der Fahrgeschwindigkeit ist daher eine gewaltige Leistung, die nur durch besondere hochentwickelte Mittel gelingen kann.

Um diese Mittel richtig zu beurteilen, ist nicht vom Motor, sondern vom Wagenlauf auszugehen. Die Straßen sind nur für langsam fahrendes Fuhrwerk angelegt; bessernd kann wegen der hohen Kosten nicht im großen, sondern nur auf Teilstrecken eingegriffen werden. Die Lokomotivbahnen haben die Fahrstraßen seit einem halben Jahrhundert, abgesehen von dem geringen Nahverkehr, entvölkert, dann ist plötzlich der rasche Kraftwagen aufgetaucht und hat die vorhandenen Straßen

mit dem bisherigen Verkehr zu teilen. Der Straßenbau ist seit einem Jahrhundert unverändert geblieben; seine Schotterdecken geben nur bei bester Herstellung durch Maschinenwalzen eine gute Rollbahn und auch diese nur vorübergehend, solange sie neu ist, dann kommt die Abnutzung, erst die wellige, dann die löcherige, dann die tiefen Radspuren und schließlich die völlige Zerstörung. In den östlichen Ländern gibt es noch keine Straßen in unserem Sinne, und in Amerika ist es wegen der rasch erstandenen Eisenbahnen überhaupt zu keinem entwickelten Straßennetz gekommen. Aber die Kraftwagen sollen auf allen Straßen und in allen Ländern fahren.

Dies unmöglich Scheinende kann auf zwei Wegen ermöglicht werden: durch Einseitigkeit, indem eine bestimmte Leistung bevorzugt wird, notwendig auf Kosten anderer, oder durch ein Kompromiß, das zahlreichen Bedingungen je nach ihrer Wichtigkeit entspricht. Der erste Weg führt zum Rennwagen, der zweite zum Gebrauchswagen.

Durch Rennwagen sollen hohe Geschwindigkeitsleistungen erreicht werden, ohne Rücksichten im wirtschaftlichen Sinne. Den Rennen hat der Automobilismus seine außerordentlich rasche Entwicklung zu verdanken, denn sie waren damals die stärksten Material- und Konstruktionserprobungen im großen und ergaben zugleich eine öffentliche Wertung, die seinerzeit große werbende Kraft erwiesen hat. Zunächst konnte das Automobil nur im Sport Interessenten finden. Die Sportleute waren auch willige Mitarbeiter bei der Behebung der zahlreichen Störungen, die in der ersten Entwicklungszeit auftraten. Dann mußte der Kraftwagen dem Sportbereich entwachsen. Es wurde die maschinentechnische Vervollkommnung, die Betriebssicherheit und schließlich die Wirtschaftlichkeit der Kraftwagen gefordert. Die Erfüllung aller dieser Forderungen ist nur im Sinne des Kompromisses möglich, weil zahlreiche, zum Teil einander widersprechende Eigenschaften zugleich berücksichtigt werden müssen: Nutzleistung, Zuverlässigkeit in Dauerfahrt, höchstwertiges Material und geringe Kosten, rasche Fahrt, Beherrschung der Formveränderungen, ruhiger Lauf, einfache Handhabung, geringste Reparatur-, Verbrauchs- und Betriebskosten, geringes Eigengewicht, Leistung bei Bergfahrt, Steigerungsfähigkeit der Leistung, Geräuschlosigkeit, Bequemlichkeit usw. Die Wichtigkeit der einzelnen Forderungen hängt von dem besonderen Verwendungszweck ab. Allen Forderungen kann nicht gleichmäßig entsprochen werden, da bestimmte Eigenschaften nur auf Kosten anderer entwickelt werden können, wie dies in der ganzen Natur, auch bei jeder Tier- und Pflanzenzüchtung, zu erkennen ist. Es gibt daher keinen Universalwagen; es müssen Grenzen gezogen werden nach Leistung, Kosten und praktischen Zwecken. Daher die großen Unterschiede zwischen Sport-, Luxus-, Stadt- und Reisewagen, Geschäftswagen, Lastwagen usw.

1. KRAFTWAGENLAUF

Die Straßen sind durchschnittlich von Haus aus schlecht oder durch die Benutzung schlecht geworden. Beim raschen Überfahren zahlreicher Fahrhindernisse ergeben sich unvermeidlich große Stöße, die aber auf den Wagen nicht schädlich wirken sollen. Der für den Wagenlauf maßgebende Grundsatz ist: die Stoßwirkung muß auf das erreichbare Minimum gebracht und durch stufenweise Federung beherrscht werden.

Zu diesem Zwecke ist unerläßlich: Teilung der Massen durch die Federung und größte Verminderung der ungefederten Masse durch die Verwendung höchstwertiger Materialien. Große Fahrgeschwindigkeit wird gewollt. Die Stoßwirkung kann daher nur vermindert werden, indem die stoßende Masse möglichst klein ausgeführt wird,

daher: leichte Räder und Achsen aus höchstwertigem Material. Daneben kann der sorgfältige Fahrer durch richtiges Anfahren oder Umgehen größerer Hindernisse viele Stöße vermeiden oder ihre Wirkungen mildern. Die Lebensdauer des Wagens hängt von solcher Sorgfalt in erster Linie ab. Die Verwendung hochwertiger Materialien zum Zwecke der Gewichts- und Massenverminderung ist der größte Fortschritt im Automobilbau. Sie haben den Kraftwagen erst lebensfähig gemacht, denn diese Materialien besitzen hohe Festigkeit und Dehnung und außerdem besondere Zähigkeit, so daß schlimmstenfalls wohl Formveränderungen, aber keine Brüche der Teile eintreten.

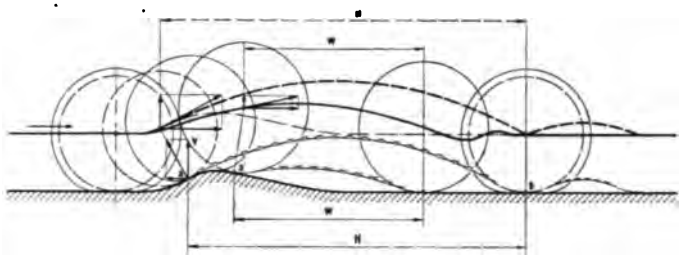


Abbildung 1. Wurfbewegung der Rollmasse beim Überfahren eines Hindernisses mit hartem und mit weichem Reifen.

Die Federn zwischen Achsen und Wagen teilen die gesamte Masse in eine ungefederte Rollmasse (Achsen und Räder) und in eine größere abgefederte Wagenmasse (Wagenrahmen, Karosserie und Last). Zwischen diesen beiden Massen müssen die Federn die Ausgleichung der Stoßkräfte besorgen. Federn können keine Stöße „aufnehmen" oder vernichten, sondern nur umformen und sofort wieder weitergeben. Jede Feder ist daher vorübergehend hintereinander Energieumformer und Energiesammler. Die Stoßenergie spannt die Feder; in diesem Zustande kann sie aber nicht verbleiben, sie muß durch rasche Rückfederung die aufgenommene Energie an die Räder zurück-, nicht aber an den Wagen weitergeben. Bei richtiger Federung wandert daher die Stoßenergie zwischen der Fahrbahn, den Rädern und Federn rasch hin und her, Räder und Achsen pendeln rasch auf und nieder, während der darüber befindliche Wagen fast ruhig bleibt. Nur wenn die Feder verhindert wird, sofort wieder gegen die Räder zurückzufedern, dann wird die Federkraft nach oben auf den Wagen übertragen, was stets unerwünscht ist.

Bei raschem Lauf muß die Stoßwirkung sofort an der Stoßstelle selbst vermindert werden, also durch eine Federung am Radumfang. Nur der Rest der Stoßenergie soll in die eigentlichen Wagenfedern gelangen. Federnde Bereifung ist daher unerläßliche Voraussetzung rascher Fahrt.

Wenn ein harter Reifen (Abbildung 1) ein Hindernis bei a anfährt und die Vertikalkraft des Stoßes größer wird als die Achsbelastung, dann werden die Räder von der Fahrbahn abgehoben und geworfen; die Masse folgt der Wurfparabel H, die Räder erreichen in b wieder die Fahrbahn, und dann folgen immer kleiner werdende Reflexwürfe, wenn nicht sofort eine neue Stoßwirkung kommt. Fährt hingegen ein elastischer Reifen das Hindernis an, dann wird er eingedrückt und wirkt so als erste Stufe der Federung, und ihr entsprechend wird die Wurfparabel W kürzer und die Fahrbahn durch das Rad schon früher getroffen. Nur der Rest der Stoßenergie, der durch die Radreifen nicht umgewandelt wurde, gelangt dann in die Wagenfedern, die sie auf die ungefederte Rollmasse zurückgeben und das Rad gegen die Fahrbahn zurückwerfen.

Die Feder steht vor Beginn des Stoßes unter normaler Belastung (I) (Abbildung 2). Durch den Stoß wird sie aufwärts zusammengedrückt (II) und federt sofort zurück. Wenn das Rad die Fahrbahn wieder trifft, ist die Feder wieder entspannt (III). Die

durch die Wagenfedern abgetrennte große Wagenmasse nimmt daher an dieser Bewegung nicht oder nur unwesentlich teil. Die geringe Zeit des Federspiels ist nämlich nur ausreichend für die Beschleunigung der geringen Rollmasse, nicht aber der großen Wagenmasse, diese schwingt daher gar nicht oder nur wenig mit.

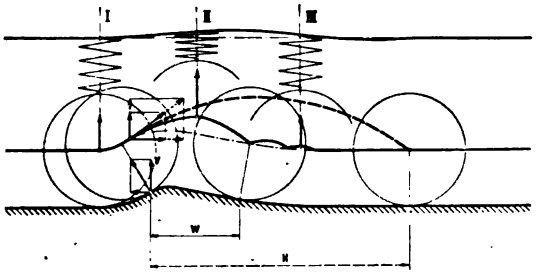


Abbildung 2. Federwirkung beim Überfahren eines Hindernisses.

Aus diesen wenigen dynamischen Grundsätzen lassen sich viele wesentliche Fahrerfahrungen als notwendig begründen, viele Anordnungen von Reifen und Federn als richtig oder verfehlt nachweisen, z. B.:

Ungefederte Wagen müssen notwendig alle Fahrhindernisse zerdrücken oder das ganze Wagengewicht auf die Höhe jedes Hindernisses heben, eine verlorene große Arbeit, denn das gehobene Gewicht würde hinter jedem Hindernis wieder herabfallen und eine straßen- und wagenzerstörende Stoßwirkung ausüben. Ungefederte Kraftwagen sind daher unmöglich.

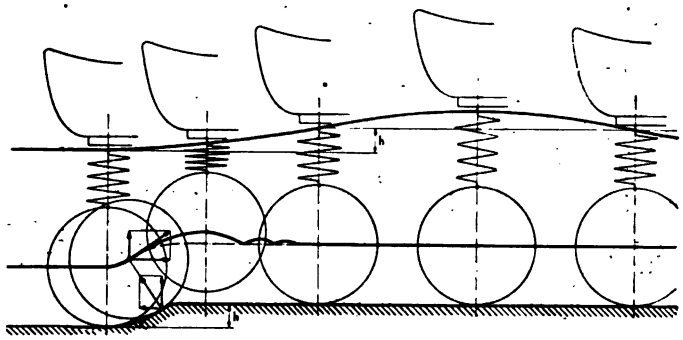
Harte Reifen an richtig gefederten Wagen genügen nur für geringe Fahrgeschwindigkeiten (bis etwa 12 km). Bei größeren würden die Stöße an der ungefederten Rollmasse und auch die Straßenzerstörung zu groß werden, weil die Federung an der Stoßstelle fehlt.

Elastische weiche Reifen können kleine Hindernisse überbrücken, und das Wagengewicht ist dann nicht zu heben. Beim Anfahren größerer Hindernisse wird der Stoß zunächst durch die Federung des Reifens umgeformt. Hierfür haben sich bisher nur Luftgummireifen als brauchbar erwiesen. Den fortwährenden Formänderungen des Gummireifens entsprechen jedoch große Energieverluste, die bei rascher Fahrt die Hälfte der Nutzleistung überschreiten können. Die Molekulararbeit im Gummi wird in Wärme umgesetzt, die Reifen erhitzen sich daher bei rascher Fahrt, und dadurch wird die Festigkeit des Gummis vermindert. Die Folgen sind: geringe Lebensdauer der Reifen, frühzeitiges Platzen der Mäntel oder Schläuche, Fahrtstörungen, Zeitverluste und hohe Kosten. Gewöhnlich platzen die Mäntel an den Rändern infolge von Erhitzung, die Schläuche an den Flickstellen. Die Luft im Schlauch dient nur als Verteilungsfeder und ist durch nichts Gleichwertiges zu ersetzen. Durch veränderte Luftspannung kann die Federkraft des Reifens nach Belieben reguliert werden.

Zu dem erwähnten großen Rollwiderstand der Gummireifen kommt bei den vom Motor angetriebenen Hinterrädern noch hinzu der Reifenwiderstand infolge der Leistungsübertragung. Hinterradreifen haben infolgedessen bei rascher Fahrt nur etwa halb so große Lebensdauer als Vorderreifen bei annähernd gleicher Belastung. Bei Rennwagen kann der Widerstand der Hinterradreifen fünf- bis sechsmal so groß werden als an den Vorderrädern.

Vollgummi kann die Luftgummireifen nie ersetzen und daher rasche Fahrt nicht ermöglichen, weil jede nennenswerte Federung an der Stoßstelle fehlt. Vollgummi oder Gummifüllung von Reifen kann nur geringe Stoßarbeit umwandeln, nur Geräusch dämpfen, die Umwandlung der Stoßenergie erfolgt erst in den Wagenfedern; das ist für rasche Fahrt zu spät. Hingegen ist der Rollverlust von Vollgummireifen entsprechend den meist geringen Formveränderungen gering. Luftgummireifen sind bis jetzt das einzige brauchbare Mittel, Stoßenergie an der Stoßstelle selbst umzuformen und rasche Fahrt zu ermöglichen. Das Mittel ist als Feder sehr voll-

kommen, aber durch seine hohen Kosten, geringe Lebensdauer und vielen Störungen teuer erkauft. Die Störungen ergeben sich hauptsächlich durch Gummierhitzung, durch mechanische Beschädigungen und Abnutzung bei unvorsichtiger Fahrt und schlechter Fahrbahn, durch chemische Veränderungen des vulkanisierten Gummis in Kälte, Wärme, im Sonnenlicht, durch Öl usw. und durch Mängel der Herstellung oder Gummibeschaffenheit. Hinterradreifen können 4000 bis 5000 km, Vorderradreifen bis 8000 km Fahrt erreichen, bei rascher Fahrt jedoch viel weniger, bei sehr sorgfältiger Fahrt etwas mehr. Wesentlich größere Haltbarkeit ist nur durch langsame Fahrt zu erzielen. Längere rasche Fahrten müssen wegen der Mängel in der Organisation des Reifenersatzes mit drei bis vier Ersatzreifen angetreten werden. Zeit und Arbeit für den Reifenwechsel kann durch Benutzung abnehmbarer Felgen vorübergehend abgekürzt werden.



Abbild. 3. Federwirkung beim Überfahren einer Stufe oder Rinne.

Gegenüber diesen Mängeln und Unbequemlichkeiten der elastischen Reifen wird daher die Bereifungsfrage für alle rasch fahrenden und schweren Kraftwagen immer eine ernste sein. Diese Nachteile sind unvermeidlich, solange nicht für die erste und wichtigste Stufe der Federung ein besseres Material gefunden ist. Hierzu liegen bisher keinerlei Aussichten vor.

Die zweite Stufe der Federung sind die eigentlichen Wagenfedern, die die große Wagenmasse von der Rollmasse abtrennen. Diese Federn können nur für eine bestimmte Last und Fahrgeschwindigkeit richtig wirken. Wegen der früher erwähnten Energieumsetzung in den Federn laufen vollbelastete Wagen ruhiger als zum Teil belastete, wenn die Federn für die Vollast ausgeführt sind. Auf guten Straßen ist der rasche Lauf ruhiger als der langsame. Schwere Wagen fahren auf ihnen ruhiger als leichte Wagen, auf schlechter Fahrbahn jedoch unruhiger als leichte, ebenso beim Überfahren von Stufen, Rinnen usw. Schwere Wagen fahren über kurzlöcherige Straßenstrecken in raschem Lauf ruhig, in langsamem Lauf unruhig, leichte Wagen stets unruhig. Alles das steht im Zusammenhang mit der Beschleunigungszeit für die abgetrennte große Wagenmasse. Wird eine Stufe oder Rinne überfahren, dann treffen die Räder nicht mehr die ursprüngliche Fahrbahn, sondern die höher oder tiefer liegende Stufe. Die beim Anfahren angespannten Wagenfedern können nicht zurückfedern, sondern müssen nunmehr ihre Energie nach oben an den schweren Wagenkasten abgeben, der aufwärts beschleunigt wird, bis die Federn ganz entspannt sind (Abbildung 3). Dabei wird der Wagen unvermeidlich zu hoch aufwärtsgehoben und fällt dann durch sein Gewicht wieder herab, so tief, daß er meist die Federn ganz zusammendrückt und hart auf den Rahmen schlägt. Solche Überschwingungen müssen durch sorgfältiges Anfahren der Stufen vermieden werden, da bei dieser Überarbeit Federbrüche eintreten können. Ähnliches gilt für das Befahren langwelliger Fahrbahnen. Auch auf diesen haben die Federn ausreichend Zeit für die Beschleunigung der großen Wagenmasse nach aufwärts, und es können sich unerträgliche Schwingungen ergeben.

Die stufenweise Abfederung ist auch für die Wagenfedern zweckmäßig. Daher werden Zusatzfedern an den Enden der Hauptfedern angebracht. Diese vergrößern, wenn richtig bemessen, den Federweg und wirken zuerst, vor den großen, langsam schwingenden Wagenfedern. Hierdurch ist es leichter möglich, den Wagen auch für verschiedene Belastungen und Fahrgeschwindigkeiten und für jeden Straßenzustand möglichst passend zu federn.

Dämpfer im Sinne von Widerständen neben den Wagenfedern haben nur dann Sinn, wenn sie Überschwingungen des Wagens nach aufwärts verhüten. Sie dürfen daher erst dann wirken, wenn die Überschwingung beginnt, aber nicht vorher. Die meisten Dämpfer, insbesondere die Kniehebeldämpfer, wirken gerade umgekehrt, sind daher unbrauchbar. Hydraulische Dämpfer, die richtig wirken können, sind zu umständlich. Elastische Räder mit Federn innerhalb der Räder können nur im Sinne von Wagenfedern wirken, wenn die Federn nicht zu sehr verkrüppelt sind; aber sie können nie elastische Reifen ersetzen und keine nennenswerte Stoßwirkung der ersten Stufe übertragen. Außerdem wirken solche Federn nur in der Radebene, während die Stöße auf der Fahrbahn allseitig erfolgen.

Zum Wagenlauf gehört die WAGENLENKUNG.

Maßgebende Grundsätze, abgesehen von der absoluten Zuverlässigkeit der Lenkung, sind: der Wagen muß zwangsfrei rollen, Nebenkräfte dürfen die gewollte Lenkung nicht stören, und das Abtreiben des Wagens aus der Rollrichtung muß durch genügende seitliche Reibung der Räder auf der Rollbahn verhindert werden.

Es wird nur Vorderradlenkung ausgeführt. Hinterradlenkung ist unbrauchbar, weil sie zunächst immer eine der beabsichtigten Wirkung entgegengesetzte einleitet. Um z. B. von einem Randstein abzukommen, müßte erst mit dem Hinterrad auf den Randstein aufgefahren werden. Zwangsfreies Rollen des Wagens bei gerader Fahrt fordert geringe Lenkkraft bei ganz zwangsfreier Handhabung. Die Lenkraddrehung wird mittels Schraubentrieb auf die Lenkhebel übersetzt und die Steigung der Schraube so bemessen, daß sie selbsthemmend wirkt, wobei die Reibung so groß ist, daß bei normalem Wagenlauf keine Rückwirkung auf das Lenkrad auftreten kann, daß aber der Antrieb der Lenkung nachgibt, wenn ungewöhnliche Stöße in die Lenkung gelangen. Dem gleichen Zwecke dienen Federn, die im Lenkgestänge eingeschaltet sind. Die Verstellung der Vorderräder erfolgt ausschließlich durch Achsschenkel, die möglichst widerstandsfrei verstellbar sind. Die Störungen im Wagenlauf, das Abtreiben aus der geraden Fahrt im Zusammenhang mit ungleichen Rollwiderständen, Hindernissen auf glatter Bahn usw. sind ähnlich wie beim Kurvenfahren. Zwangsfreies Abrollen des Wagens erfordert solche Anordnung des Steuerungsgestänges zwischen den beiden Vorderrädern, daß keine einseitigen Kräfte auftreten können, oder daß diese, wenn sie unvermeidlich sind, die Räder wieder in die gerade Fahrt zurückdrängen, was man die „Stabilität" der Lenkung nennt. Wenn diese Bedingungen nicht erfüllt werden können, dann wird zu besonderen Hilfsmitteln gegriffen, z. B. zur Schränkung der

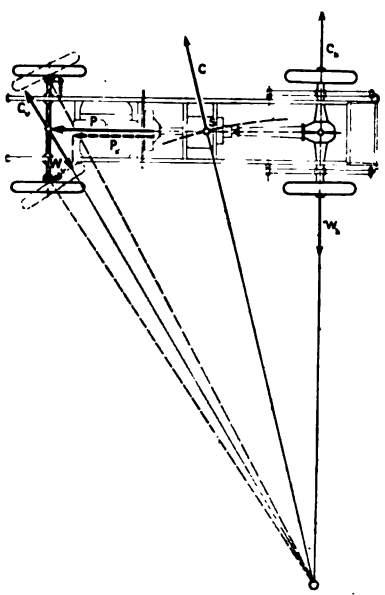


Abbildung 4. Fliehkräfte beim Kurvenfahren.

Vorderräder gegeneinander nach innen, damit keine nach außen drängende Kraft auftreten kann. Bei Ablenkung von der geraden Fahrt, beim Kurvenfahren, müssen alle Räder um den jeweiligen Drehpol 0 (Abbildung 4) zwangsfrei rollen. Der Pol ist der Schnittpunkt der vier Radachsen. Daher dürfen die Achsschenkel der beiden Vorderräder während des Kurvenfahrens nicht parallel sein, eine Bedingung, die sich ohne Umständlichkeit nur annähernd erfüllen läßt, so daß alsdann das Abrollen nicht ganz zwangsfrei erfolgen kann, sondern daß gleichzeitig ein Gleiten der Räder auf der Bahn eintreten muß. Da die Räder beim Kurvenfahren um den Drehpol rollen sollen, so müssen die Außenräder stets rascher laufen als die Innenräder. Diese Bedingung erfüllen die Vorderräder ohne weiteres, da sie lose auf den stellbaren Achsschenkeln laufen. Die vom Motor angetriebenen Hinterräder jedoch müssen im Antrieb einen besonderen Ausgleichungsteil (Differenzial) besitzen (S. 183). Schleudern des Wagens kann bei rascher Ablenkung und wechselnden Widerständen eintreten. Das Schleudern wird hervorgerufen durch die Massenwirkung (Fliehkraft) raschfahrender Wagen bei unzureichender seitlicher Reibung der Räder auf der Fahrbahn. Dieser Vorgang kann sehr gefährlich werden, und insbesondere auf glatter Bahn, auf Eis und Schnee, auf Asphalt, auf schmierendem Straßenschmutz usw. muß man rechtzeitig darauf bedacht sein, ihn zu verhüten.

Die Fliehkräfte (Abbildung 4) hängen von der augenblicklichen Fahrgeschwindigkeit, von der Wagenmasse und der Größe des Ablenkungswinkels ab. Daher: vor dem Ablenken langsam fahren oder mit kleinem Winkel allmählich ablenken, in möglichst großem Bogen in die Kurve einfahren und nicht plötzlich! Das Schleudern kann noch beeinflußt werden durch Gleitschutzreifen mit vorspringenden Stahlstollen usw., welche die seitliche Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn erhöhen. Solche Gleitschutzreifen erhöhen unvermeidlich den Rollwiderstand und die Kosten und wirken nur auf trockener oder rauher Fahrbahn, nicht auf nassem Pflaster oder schlüpfrigem Boden, Schnee oder Eis. Auf solcher Fahrbahn fängt der Wagen ebenso wie mit glatten Reifen zu „schwimmen" an. Dagegen hilft nur langsames Fahren und Verwendung besonderer Bandagen auf dem Radreifen: Ketten, Seile usw., die aber auf gewöhnlicher Fahrbahn unverwendbar sind, weil sie die Räder oder die Fahrbahn zerstören; sie dürfen daher nur im Bedarfsfalle aufgelegt und müssen rechtzeitig wieder abgenommen werden.

Das Schleudern des Wagens wird gefördert, wenn beim Einfahren in Kurven oder bei plötzlichem Ablenken gebremst wird, was viele Fahrer gewohnheitsmäßig tun. Viele Unfälle sind nur hierauf zurückzuführen. Der Bremskraft entsprechend wird nämlich die Hinterachse entlastet (Abbildung 5) und die Reibung der Hinterräder auf der Fahrbahn vermindert, die Bedingung für das Schleudern daher verschärft. Die Fahrgeschwindigkeit muß vor dem Ablenken vermindert werden. Plötzliches Bremsen ist auch aus anderen Gründen stets gefährlich.

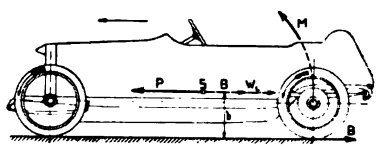


Abbildung 5. Brems- und Widerstandskräfte.

Bezeichnend ist das Kurvenfahren vieler Rennfahrer, da die Rennerfolge wesentlich davon abhängen, wie die Kurven genommen werden. Sie bremsen den raschfahrenden Wagen und bewirken dadurch absichtlich ein Schleudern des Hinterwagens, damit er rasch in die abgelenkte Richtung kommt. Dann aber lassen sie die Bremse rechtzeitig los und geben volle Motorkraft. Ihr entsprechend werden die Hinterräder plötzlich belastet, die Reibung erhöht und damit das Schleudern beendigt.

Über die Maschinen- und Wagen-Bremsen, mit denen auf den Wagenlauf eingewirkt wird, ist im Zusammenhang mit dem Motor Näheres angegeben (S. 191).

2. KRAFTWAGENTRIEB

Grundlegend für die Kraftübertragung vom Motor zu den Rädern ist: das Adhäsionsgewicht der angetriebenen Achse, somit die ausnutzbare Reibung der Räder auf der Fahrbahn muß ausreichend groß sein. Kein Triebwerksteil kann aber einen unveränderlichen Stützpunkt finden, denn der Wagenrahmen, der allein die Triebwerksteile stützt, erfährt bei rascher Fahrt und auf schlechter Bahn allseitige Formveränderungen und kann somit nie starres Maschinenfundament sein. Zu diesen an sich geringen, aber überall vorhandenen Formveränderungen des Rahmens kommt noch das große Federspiel zwischen Rahmen und Achse hinzu. Es müssen daher in alle wesentlichen Triebwerksteile Ausgleichsteile eingeschaltet werden, welche trotz der allseitig veränderlichen Stützung stets genauen Lauf des Triebwerks sichern. Richtige Bauart und Ausführung dieser Teile sind für den Wert und die Lebensdauer des Wagens entscheidend. Ältere Wagen sind in dieser Hinsicht mit vielen Fehlern behaftet.

Bei allen Kraftwagen liegt der Motor vorn, und die Hinterachse wird angetrieben; der Wagen wird also geschoben, und die Vorderräder werden gelenkt. Weil der gezogene Wagen das Gewohnheitsgemäße ist und einige Vorteile gegenüber dem geschobenen bietet, hat der Vorderradantrieb auch für Kraftwagen vielfach als wünschenswert gegolten. Von den zahlreichen Ideen hierüber hat jedoch keine Lebensfähigkeit erlangt. Der Hinterradantrieb herrscht mit Recht ausschließlich. Sogar Elektromobile, bei denen Antrieb und gleichzeitige Lenkung der Vorderräder keine Schwierigkeiten bereitet, werden mit Hinterradantrieb ausgeführt.

Der Hinterradantrieb gestattet freie Entwicklung der Konstruktion und der Karosserie bei größter Einfachheit und Zugänglichkeit. Für den Antrieb wird nur das Adhäsionsgewicht der Hinterachse benutzt und, wenn notwendig, die Hauptbelastung durch überhängenden Wagenkasten auf die Hinterachse verschoben, wie dies bei Omnibussen und Lastwagen zu sehen ist. Die Adhäsion erreicht ihre Grenze, wenn Gleiten der Räder auf der Fahrbahn eintritt. Dies ist zugleich die Sicherheitsgrenze, da größere Beanspruchung des Triebwerks unmöglich ist.

Die Kraftübertragung vom Motor zu den Triebrädern erfolgt entweder durch Kette oder durch Welle (Cardan). Ein Jahrzehnt hat der Streit gedauert, ob Ketten- oder Wellentrieb vorzuziehen sei. Leitende Fabriken haben den Kettentrieb allein ausgeführt und hartnäckig verteidigt, aber alle sind zum Wellentrieb gezwungen worden, und der Kettentrieb wird nur noch bei Lastwagen und Rennwagen verwendet.

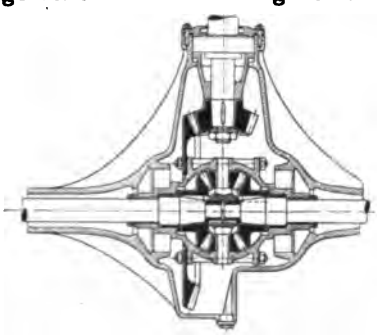


Abbildung 6. Differenzialgetriebe.

Der Kettentrieb, vom Fahrrad übernommen, läßt eine einfache Hinterachse von geringster Masse zu, und die Kette gewährt eine gewisse Nachgiebigkeit im Antrieb. Wegen dieser Vorteile werden die wirklichen Rennwagen wohl auch künftig Kettenwagen bleiben. Die Kette ist jedoch der Streckung und Verschmutzung unterworfen; Nachspannen und Instandhalten sind unbequem, Kettenschutz und Schmierung zu umständlich, insbesondere wegen des Zusammenhangs mit den notwendigen Spannvorrichtungen und wegen der Gefahr von Kettenbrüchen. Ketten laufen auch stets geräuschvoll und übertragen Schwingungen auf den Wagen. Deshalb sind Personenwagen mit Kettentrieb kaum noch verkäuflich.

Der Wellentrieb, dem Maschinenbau entnommen, entspricht allen wesentlichen Anforderungen und ist Sieger geblieben, obwohl dabei die Hinterachse viel größere

Masse erhält und aus mindestens drei Hauptteilen bestehen muß: aus einem äußeren tragenden Teil und zwei inneren Wellenstücken zum Antrieb der Räder, die an den Wellenenden befestigt sind. Die Vorurteile gegen den Wellentrieb stammen aus der Zeit seiner mangelhaften Ausführung. Der äußere Teil bestand aus gegossenen statt gepreßten Stücken; die Zahnräder waren lärmend im Gange, Ausführung und Material unvollkommen. Daher wurde diese Bauart nur bei leichten, billigen Wagen gewagt. Die Mängel sind durch richtige Bauart und genaue Ausführung beseitigt, und jetzt ist der Wellentrieb trotz der vergrößerten Masse der Hinterachse bei Personenwagen allgemein geworden und auch schon bei Lastwagen in Verwendung.

Ketten- wie Wellentrieb müssen die erwähnten Ausgleichsteile im ganzen Bereiche des Triebwerks besitzen. Zu ihnen gehören die Federn, das Differenzial, die Universalgelenke, die besondere Befestigung und Aufhängung der Maschinen- und Wagenteile usw. Kenntnis dieser Teile und ihrer Wirkung ist für das Verständnis des Kraftwagens wesentlich, aber für Nichtsachverständige teilweise schwierig.

Das sog. „Differenzial" (Abbildung 6) muß in jeden Antrieb an oder nahe der Hinterachse eingeschaltet werden, weil die Wagenräder beim Kurvenfahren ungleich rasch laufen, aber auch bei gerader Fahrt wegen der ungleichen Reifendurchmesser und der ungleichen Widerstände sich verschieden schnell drehen. Das Differenzial ist seinem Wesen nach eine Universalkuppelung, die bei jeder beliebigen Verdrehung beliebige Verstellung der Wagenräder und des zugehörigen Antriebs gestattet. Es besteht aus je einem Zahnrad (Abbildung 7) auf den inneren Wellenenden der anzutreibenden Räder und zwischen diesen Zahnrädern liegenden Querrädern. Die Zähne dieser Querräder sind die eigentlichen beweglichen Kuppelungsteile. Sie sind in einem Gehäuse gelagert, das sich mit der Antriebswelle dreht. Sind die Widerstände und Geschwindigkeiten der beiden Wagenräder gleich groß (I), dann dienen die Querräder nur als Zahnkuppelung, und das Ganze dreht sich ohne Relativbewegung der Teile. Wird hingegen das eine Wagenrad festgehalten (II), dann muß sich das zweite Zahnrad, somit das Wagenrad mit doppelt so großer Geschwindigkeit drehen als der Radmittelpunkt, weil die Querräder auf dem festgehaltenen Zahnrad sich abwälzen müssen, und der verdoppelte Hebelarm wirkt. Wird bei stillstehendem Antrieb (beim Schieben des Wagens oder unter Umständen beim Entkuppeln) das eine Wagenrad mit normaler Geschwindigkeit gedreht (IV), dann muß sich das zweite Zahnrad und damit auch das zweite Wagenrad mit der gleichen Geschwindigkeit entgegengesetzt drehen. Wird endlich das eine Wagenrad nur teilweise festgehalten (III), dann läuft es mit verminderter, das zweite Rad hingegen mit vergrößerter Geschwindigkeit. Solcher Art ist daher das Differenzial eine Zahnkuppelung, die in jeder beliebigen Stellung, bei allen wechselnden Geschwindigkeiten wirksam ist,

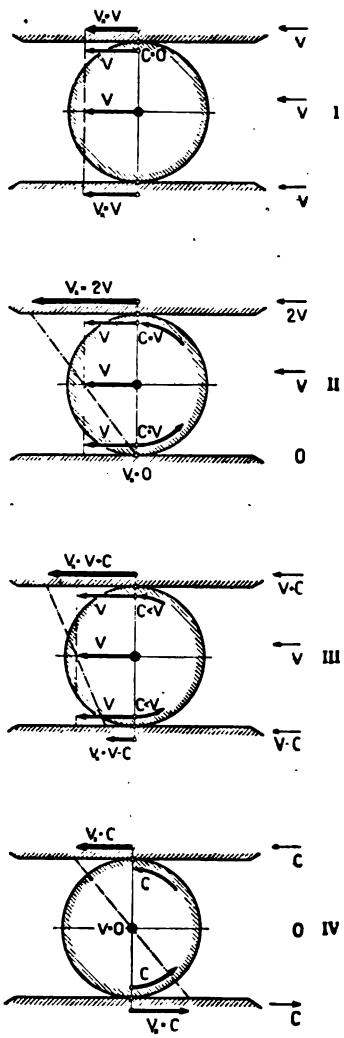


Abbildung 7. Wirkung des Differenzials.

I. Widerstände und Geschwindigkeiten gleich groß. — II. Ein Rad festgehalten. — III. Beide Räder verschiedene Geschwindigkeit. — IV. Verkehrte Drehung.

weil sie beliebiges Abwälzen der Zahnräder gestattet, so daß auch jede Laufgeschwindigkeit des einzelnen Wagenrades unbehindert möglich ist. Dieses Ausgleichungsgetriebe ist bei jedem, auch dem kleinsten Wagen notwendig, und es arbeitet fortwährend, auch bei geradliniger Fahrt. Richtig ausgeführt, gibt es zu keinen Störungen Anlaß. Nachteilig sind aber einige unerwünschte gelegentliche Nebenwirkungen, die z. B. eintreten, wenn die Räder bei gerader Fahrt plötzlich verschiedenen Widerstand finden, oder wenn die Räder auf glatter Bahn, auf Eis, auf Steilstrecken anfahren müssen. Auch in diesen letzteren Fällen kann ein Rad zufällig größeren Widerstand finden, es bleibt stehen, weil das Differenzial dies gestattet, das zweite Rad hingegen fängt zu „mahlen" an. Im Differenzial wälzt sich dann das zugehörige Zahnrad auf dem festgehaltenen Rade ab, und das tollgewordene Rad dreht sich somit mit vergrößerter Geschwindigkeit. Findet es auf der glatten Fahrbahn keine genügende Reibung, dann wird die Motorleistung nur in Reifenabnutzung verbraucht. Je länger dieses Mahlen andauert, desto schwerer ist es, aus solcher Stelle herauszukommen. Abhilfe bringt nur Erhöhung der Reibung zwischen Reifen und Boden oder die Sperrung des Differenzials, die aber die Gefahr bringt, daß die Sperrung zu lösen vergessen und in der nächsten Kurve die Fahrt gestört wird. Bei schweren Lastwagen und bei Wagen für Steilfahrten werden zeitweilig zur Erhöhung der Reibung die erwähnten besonderen Bandagen auf die Reifen gelegt.

Im Wellentriebe sind als Ausgleichsteile „Universalgelenke" einzuschalten, die in zwei Ebenen nachgiebig sind. Eine Bauart solcher Gelenke rührt von Cardan her, und dieser Name wird für den ganzen Wellentrieb, sogar als Bezeichnung der Wagengattung, verwendet. Diese Ausgleichgelenke sind im Wellentrieb zwischen Motor und Hinterachsantrieb, auch bei Kettentrieb, erforderlich und müssen auch zwischen Motor und Getriebekasten für Geschwindigkeitswechsel, sogar zwischen Motor und Kupplung eingeschaltet werden, wenn jeder dieser Teile auf dem Wagenrahmen getrennt gelagert ist. Das Fehlen dieser Ausgleichsteile hat selbst bei kurzen Wellenstücken Klemmung und Abnutzung oder Bruch zur Folge. In der richtigen Anordnung solcher Ausgleichungen im ganzen Bereiche des Triebwerks und in dem dadurch gesicherten genauen Lauf aller Teile liegt das, was in der Chauffeursprache als „Souplesse" des Wagens bezeichnet wird. Dies ist nicht eine Frage der Federung und sonstiger Vorkehrungen, um weichen Wagengang zu sichern, sondern ist grundlegende Bedingung für gesunde Bauart jedes Wagentriebs im erwähnten Sinne. Die Kraftübertragung im ganzen Wagen muß eben trotz der unvermeidlichen Formveränderung aller tragenden Teile überall zwangsfrei erfolgen. Die Einzelheiten hierzu sind verwickelt, da es auf die Einzel- und Gesamtwirkungen aller Kräfte während der Fahrt ankommt: auf die Wirkung der Last, der Massen, der Geschwindigkeitsänderungen und der hiervon abhängigen Beschleunigungen und Verzögerungen, auf die Reibungs- und Bremskräfte, auf die Stoßwirkungen, die Fahrwiderstände, die Motor- und Triebkraft, auf die Zug- und Schubkräfte bei der Kraftübertragung usw. Und hierzu kommt noch eine Reihe von dynamischen Nebenwirkungen, insbesondere die Schwingungen der Maschinen- und Wagenteile. Alle diese verwickelten Wirkungen lassen sich bei richtiger Bauart vollständig beherrschen. Hierin liegt der große Unterschied zwischen langlebigen und bei aller Verfeinerung gegen Störungen unempfindlichen Wagen und den vielen empfindlichen, kranken Wagen, der Unterschied zwischen tadellos ruhigem und schlechtem Lauf. Eine Reihe wichtiger Einzelheiten hängt damit zusammen: Ausgleichung der Motorkräfte, Lagerung der Motor- und Triebwerksteile, Aufhängung und Stützung der Maschinen- und Wagenteile, der Federn und Bremsen, die ganze Massen-, Gewichts- und Kräfteverteilung im Wagen usw.

3. KRAFTWAGENMOTOR

Für motorischen Wagenbetrieb ist nur ursprüngliche Brennstoffenergie in konzentrierter und leicht transportabler Form verwendbar. Jede Art umgeformter Energie scheidet wegen Umständlichkeit oder großen Gewichtes aus.

ELEKTROMOTOREN sind für rasche oder lange Fahrt unbrauchbar; das Gewicht der Akkumulatoren wird zu groß, der Aktionsradius (bis 70 km) zu klein; daher elektrischer Betrieb wesentlich nur im Stadtbetriebe möglich ist. Wegen des großen Wagengewichts ergeben die Luftgummireifen schon bei mäßigen Geschwindigkeiten einen Rollverlust von etwa der Hälfte der Motorleistung. Der Verlust kann durch Vollgummireifen etwas herabgesetzt werden, doch gestatten diese nur Fahrgeschwindigkeiten von etwa 20 km. Diese Beschränkungen sind die Hauptursache, weshalb Elektromobile wenig verwendet werden. Ganz verkehrt sind auch die Bestrebungen, elektrische Wagenzüge zu schaffen mit einer fahrenden Zentralstation und Anhängewagen, deren jeder durch einen besonderen Motor getrieben wird.

DAMPFMOTOREN sind in England seit einem Jahrhundert als Straßenlokomotiven betrieben worden, bis die berüchtigte Bill vorschrieb, daß ein Mann mit roter Fahne ihnen 20 Yards voranzuschreiten habe. Damit wurde der ersten Automobilentwicklung auf englischem Boden der Todesstoß versetzt und die Dampfkraft ganz auf die Schienenbahnen gedrängt. In dieser Gestalt hat die Dampfkraft den Weltverkehr an sich gezogen, obwohl die Lokomotiveisenbahn im Sinne des eingangs Erwähnten nur als einseitiges Kompromiß anzusprechen ist. Der Zweck ist bei ihr der gleiche wie beim Kraftwagen: Geschwindigkeits- und Leistungssteigerung. Die Einseitigkeit besteht darin, daß bei diesem Kompromiß allen Schwierigkeiten aus dem Wege gegangen wird, indem eine eigene kostspielige Fahrbahn hergestellt wird, auf welcher der Verkehr ganzer Länder unnatürlich zusammengedrängt werden muß, und zwar Güter- wie Menschenverkehr, obwohl die Beförderungsbedingungen für beide ganz verschieden sind. Die Einseitigkeit wird dadurch gekennzeichnet, daß selbst auf Hauptbahnen die Kosten des lebendigen Teils des Transports, die Kohlenkosten, je nach der Dichte des Verkehrs nur 5 bis 10 % der Gesamtausgaben betragen, während der große Rest für Bau, Verwaltung usw. aufgebracht werden muß. Gegenüber diesem inzwischen wirtschaftlich übergroß gewordenen Betriebe konnte sich das Dampfautomobil, trotz der gewaltigen Entwicklung der Dampfmaschinen auf allen anderen Gebieten, selbst technisch nicht durchsetzen. Kesselgewicht und Totgewicht wurden zu groß, der Aktionsradius zu klein. Erst in den neunziger Jahren hat Serpollet raschlaufende Dampfautomobile mit großem Geschick ausgebildet, aber ohne dauernden Erfolg zu erringen. Der Dampfbetrieb auf dem Wagen wird zu umständlich, bedingt er doch: Kesselheizung durch Petroleum, Wasserreinigung, Dampfkondensation, Wasserrücklauf, Kesselspeisung, daher Speisepumpen mit ihrer Regulierung, wovon der Wagenlauf abhängig ist, und dazu zahlreiche Hilfsvorrichtungen.

VERBRENNUNGSMOTOREN zu verwenden, war zunächst eine Gewichtsfrage, die sie gegenüber dem Dampfmotor überlegen lösen; dann eine Zuverlässigkeitsfrage, der anfänglich sehr schlecht, gegenwärtig aber auf Grund reicher Erfahrungen vollkommen entsprochen wird, auch im ungestörten Dauerbetriebe. Verbrennungsmotoren beherrschen, ohne zu ungewöhnlichen Vorkehrungen zu zwingen, Aktionsradien von 400 km. Selbst Lastwagen können mit etwa 200 l Brennstoff 300 km fahren, also mit einem Brennstoffvorrat von nur etwa 2 % des Wagengewichts. Dazu kommt das geringe Raumbedürfnis der Verbrennungsmaschinen. Diesen Vorzügen steht der Nachteil sehr geringer Steigerungsfähigkeit und Überlastbarkeit gegenüber. Sie können

nicht mit Belastung anlaufen, erfordern daher eine lösbare Kupplung und eine besondere Andrehvorrichtung, gestatten kein selbsttätiges Anpassen an die Fahrgeschwindigkeit, benötigen daher ein besonderes Wechselgetriebe für veränderliche Fahrgeschwindigkeit. Trotzdem entsprechen diese Motoren in der gegenwärtigen Vervollkommnung allen wesentlichen Ansprüchen.

Die Bauart der Motoren ist trotz zahlloser äußerlicher und innerer Verschiedenheiten im wesentlichen einheitlich geworden. Es werden nur einfach wirkende Motoren, im Viertakt arbeitend, verwendet. Beim ersten Kolbenhub wird Benzingemisch angesaugt (Saughub, Ladehub), beim zweiten verdichtet, um die Zündfähigkeit und thermische Ausnutzung zu erhöhen (Kompressionshub); unmittelbar vor dem dritten Hub wird gezündet; beim dritten Hub (Arbeitshub) dehnt sich das Arbeitsgas aus, und beim vierten Hub werden die Abgase aus dem Zylinder herausgedrückt (Auspuffhub). Alle Versuche, Zweitaktwirkung anzuwenden, sind mißlungen. Im Zweitakt soll Saug- und Ausschubhub erspart und durch Spülen und Laden mittels besonderer Pumpen ersetzt werden. Für diesen Ladevorgang gewähren aber die raschlaufenden Automobilmotoren nicht die genügende Zeit, so daß er nur in roher Weise oder nur bei verminderter Geschwindigkeit gelingen kann. Beides ist unzulässig. Das Zweitaktverfahren ist für Schnelläufer bisher nur bei Öleinspritzmaschinen (Dieselmaschinen) durchgeführt worden, die aber mit einem völlig anderen Ladevorgang arbeiten.

Alle Wagenmotoren sind raschlaufende, mit Drehzahlen bis 2000 minutlich arbeitend. In der sorgfältigen Durchführung dieser Schnelläufer liegt ein großer Teil des Fortschritts im Motorenbau. Einheitlich ist auch die Anordnung der Motoren, an der Stirnseite der Wagen, mit dahinter befindlicher Reibungskupplung. Es werden fast nur Vierzylinder-Motoren verwendet. Ein- und Zweizylinder-Motoren sind wegen ihrer großen unausgeglichenen Kräfte, bis auf die Motoren der billigen Zwei- und Dreiräder, verschwunden. Die Einheitlichkeit der Motorbauart und -anordnung hängt damit zusammen, daß die für den Motorbetrieb maßgebenden Grundsätze früher berücksichtigt wurden als die des Wagenbetriebs. Die Einzelheiten hierzu lassen sich nicht kurz erörtern und sind zum Teil nur für Sachkundige verständlich. Hier sei nur hervorgehoben: aus der Welle des Motors soll nur das Drehmoment für den Wagentrieb heraustreten, alle übrigen Kräfte sollen im Motor selbst aufgehoben werden. Der ruhige, gleichmäßige Lauf hängt hiervon ab. Bei dieser Ausgleichung im Motor handelt es sich um die Massenkräfte der Triebwerksteile, die sich beim raschen Lauf mit jeder Drehung ändern, und um die Kippmomente, das sind die Kraftmomente, die in den Ebenen der vier Zylinder in verschiedener Größe wirken. Beide Kraftwirkungen im Motor selbst ganz auszugleichen, erfordert mehr als vier Kurbeln. Mit vier Kurbeln können nur entweder die Massenkräfte oder die Kippmomente ausgeglichen werden. Bei richtiger Ausführung von Vierkurbel-Motoren ist jedoch der verbleibende Rest dieser schädlichen Kraftwirkungen gering. Noch umständlicher sind die dynamischen Verhältnisse im Zusammenhang mit dem Ladevorgang und den Schwingungen der Maschinenteile. — Für das Verständnis viel wichtiger als diese maschinentechnischen Einzelheiten und ohne besondere Sachkenntnis verständlich sind die Lebensbedingungen für den störungsfreien Motorlauf: richtige Ladung, Zündung, Kühlung und Schmierung sowie Einzelheiten der Steuerung, die auf den ruhigen, zuverlässigen Dauerlauf der Motoren Einfluß haben. Verstöße gegen diese Lebensbedingungen waren lange Zeit Ursache von schweren Betriebsstörungen und Mängeln.

Richtige Ladung erfordert: richtige Benzinzuführung, feine Zerstäubung und Mischung mit der Verbrennungsluft im „Vergaser" und richtige Einströmung in die Zylinder. Die Benzinbehälter liegen entweder höher als die Motoren, unter den Vordersitzen des Wagens, wobei das Benzin unter natürlichem Gefälle dem Motor zufließt. Diese Anordnung ist die einfachste, erfordert aber für große Steigungen besondere Luftpumpe. Oder der Benzinbehälter befindet sich hinten am Wagen, tiefer als der Motor, und das Benzin wird durch die Auspuffgase oder durch besondere Luftpumpen unter genügenden Überdruck gesetzt. Die Gemischbildung erfolgt im sogenannten „Vergaser", in welchem das Benzin durch eine Düse fein zerstäubt wird. Ein Schwimmer reguliert selbsttätig den Benzinzufluß. Die Zusatzluft für die Verbrennung wird durch ein besonderes selbsttätiges oder zwangsweise gesteuertes Organ zugeführt. Die Regulierung des Benzingemisches und damit des Motorganges erfolgt durch einen Drosselschieber. Die verschiedenen Vergasersysteme unterscheiden sich wesentlich nur durch die Art der Luftzuführung, der Düsenanordnung und durch ihr Verhalten innerhalb weiter Regulierungsgrenzen. Die Einzelheiten entziehen sich hier der Darstellung. Störungen in der Ladung können entstehen durch Störung der Benzinzuführung, durch Verunreinigungen, durch Störung der Luftströmung, indem meist zu wenig Luft zugeführt, infolgedessen das Gemisch übersättigt wird, so daß es die Zündfähigkeit verliert, ferner durch Schwingungen der Gas- oder Luftmassen, Ventile oder Schwimmer usw.

Die Zündung des verdichteten Gemisches hat früher zu vielen lästigen Störungen Anlaß gegeben, die größtenteils verschwunden sind, seitdem die Zündvorrichtungen durch Spezialfabriken einheitlich in hoher Vollendung hergestellt werden. Flammzündung, Glührohrzündung, Abreißzündung usw. sind verschwunden; es wird nur noch Kerzenzündung verwendet. Da diese nur bei ausreichend großer Drehgeschwindigkeit brauchbare Zündfunken gibt, wird eine Batteriezündung für das Andrehen des Motors hinzugefügt. Die Magnetapparate erzeugen Hochspannungsstrom, der durch Verteiler und Unterbrecher zu den vier Zylindern des Motors geführt wird und dort in Zündkerzen die Zündfunken erzeugt. Störungen rühren her von mangelhafter Isolierung der Stromleitung, Verölung oder Verunreinigung der Verteiler oder der Zündkerzen, Abnutzung der Kontakte, Erschöpfung der Batterie usw.

Richtige Kühlung ist Lebensbedingung und Voraussetzung des Motorganges, da Schmierung und Dichtung der Gleitflächen ohne wirksame Kühlung unmöglich ist. Heißgewordene Motoren verursachen Falschzündungen und Zerstörung der Gleitflächen usw. Luftkühlung ist für Dauerbetrieb nur bei kleinen Motoren in Verwendung. Die Wärmeableitung ist dabei im Dauerbetrieb unzureichend, daher ist Wasserkühlung notwendig. Den Motorzylindern und Steuerungskammern wird durch Kühlwasserumlauf genügend Wärme entzogen und das Kühlwasser im Kreislauf verwendet, das erwärmte Wasser in einen besonderen Röhrenkühler geleitet und dort rückgekühlt. Kühlung ohne Kreislauf, z. B. Verdampfungskühlung, bei welcher das Wasser ohne Rückkühlung bis zu seiner Verdampfung erwärmt und verbraucht wird, ist unbrauchbar wegen der Verdampfungsrückstände, die die Kühlräume mit Wasserstein belegen und die Wärmeleitung unwirksam machen, und wegen des ständig notwendigen Wasserersatzes. Der Kühler wird von Luft durchströmt und besteht aus Zellen oder Röhren, in denen das abzukühlende Wasser umläuft. Da die Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, müssen die luftberührten Metallflächen des Kühlers wesentlich größer sein als die wasserberührten, um genügenden Wärmeaustausch zu erzielen. Der Luftumlauf im Kühler wird teils durch die Fahrt, teils durch einen Ventilator

bewirkt. Letzterer befindet sich unmittelbar hinter dem Kühler, und der Luftzug wird häufig noch verstärkt durch einen Ventilator im Motorschwungrad. Der Wasserumlauf wird durch besondere Kühlwasserpumpen hergestellt oder durch natürliches Wärmegefälle (Thermosyphon-Wirkung), d. i. durch den geringen Gewichtsunterschied zwischen aufsteigendem warmen und niedersinkendem abgekühlten Wasser. Solche Strömung erfordert aber bei der Kleinheit der Kraft große Rohrquerschnitte, ist sehr empfindlich und kann bei Bergfahrten, wo die Schwerpunktslagen der kalten und warmen Wassermassen sich ändern, sowie durch jede Unterbrechung im Kühlwasserumlauf gestört werden.

Richtige Schmierung ist weitere Lebensbedingung des Motors. Sie ist nach dem Vorbild der Großmaschinen auch im Begriff, einheitlich zu werden. Früher wurden Tauchschmierungen verwendet, wobei die Schubstangenköpfe der Motoren im Kurbelkasten in ein Ölbad tauchen und das Öl im Laufe herumschleudern, ein rohes, unsicheres Verfahren, das keine Gewähr bietet, daß alle empfindlichen Teile genügend geschmiert werden. Daher wird meist überschmiert. Die zahlreichen Verbesserungen dieser Schmierart beheben den Übelstand nicht, da sie sich nur mit der selbsttätigen Ergänzung des Ölvorrats durch Pumpen, Bagger usw. befassen, also nur mit der Vorbereitung zur Schmierung, nicht mit der Schmierwirkung. Richtige Schmierung muß Zwangsschmierung sein, die das Öl zuerst den starkbelasteten Maschinenteilen, insbesondere den Kurbellagern zuführt; dann erst kann Schleuderschmierung für minder empfindliche Teile eintreten. Die Vorrichtungen zur Kontrolle der Schmierung sollen dem Fahrer nicht bloß den Ölvorrat anzeigen, wie dies meist geschieht, sondern die tatsächliche Schmierwirkung. Die Erkennungsvorrichtung (Schauglas, Manometer oder Meßkolben) muß daher im wirksamen Ölstrom angebracht sein. Die Mehrzahl der leitenden Fabriken ist neuestens zu dieser Schmierart übergegangen und hat die Tauchschmierung aufgegeben.

Mangelhafte Schmierung gefährdet den Motor. Dieser naheliegenden großen Gefahr suchen die Fahrer bei unzweckmäßigen oder unsicheren Schmiervorrichtungen durch Überschmierung zu begegnen, die sehr nachteilig ist wegen Rauchbelästigung, Verschmutzung des Motors und Ölverschwendung. Der Ölüberschuß verbrennt im Zylinder unvollständig und verursacht rauchenden Motorgang und Rückstände im Zylinder. Rauchloser Gang bei allen Geschwindigkeiten, ausgenommen beim ersten Anfahren, muß von jedem Motor verlangt werden und ist durch richtige Zwangsschmierung unter Vermeidung der Überschmierung stets erreichbar. Ursachen des rauchenden Ganges können außerdem sein: undichte Kolben, undichte Auslaßventile im Motor, so daß die Kompression des Gemisches nicht ausreichend ist und der mangelhaften Verdichtung eine mangelhafte Verbrennung folgt; weiter: unrichtige Einstellung der Zündung oder des Vergasers. In allen diesen Fällen fällt aber die Motorleistung stark ab und zwingt zu frühzeitiger Beseitigung der Ursache.

4. KRAFTWAGENFAHRT

STEUERUNG DER MOTOREN. Für die Handsteuerung des Motors durch den Fahrer ist erforderlich: ein Drosselschieber am Vergaser, der die Gemischmenge reguliert und durch einen Drosselhebel auf dem Lenkrade oder durch einen Fußhebel („Akzelerator") bedient wird, und eine Zündverstellung, um größere Vorzündung zu geben, je rascher der Motor laufen soll, bzw. um die Zündung bei langsamem Lauf oder beim Ankurbeln des Motors zurückzustellen. Weiterer Steuerung durch den Fahrer bedarf der Motor nicht. Alles andere ist selbsttätig: Vergaser, Ein- und Ausströmung, Zündung, Schmierung, Kühlung usw.

Die selbsttätige Motorsteuerung erfolgt überwiegend durch Ventile, da diese die geringsten Dichtungsflächen, beste Zugänglichkeit und Auswechselbarkeit der Teile ergeben, allen Anforderungen entsprechen und auch geräuschlosen Gang ermöglichen, wenn dies gefordert wird. Die mit geschickter Anpreisung eingeführten „ventillosen" Knight-Schiebermotoren haben in letzter Zeit große Vorliebe gefunden. Diese Doppelschiebersteuerung ist aber mit großer Wärmestauung behaftet, weil die Wärme, die in das Kühlwasser abgeleitet werden soll, durch die beiden Schieber, die den Arbeitskolben umschließen, nicht rechtzeitig abfließen kann; infolgedessen werden die Schieber und der Kolbenboden heiß. Um trotz dieser schädlichen Wärmestauung Dauerbetrieb zu ermöglichen, müssen die Schieber überschmiert werden, damit das verdampfende Schmieröl die fehlende Kühlwirkung ergibt. Versagt die Schmierung an einzelnen Stellen der großen, langen Schieber, dann sind Schieberbrüche unvermeidlich. Ersatzschieber in fremden Werkstätten herzustellen, ist unmöglich, selbst der Einbau vorhandener Ersatzschieber erfordert ungewöhnliche Übung.

Die Geräuschlosigkeit des Wagenlaufs hängt vom ganzen Triebwerk ab, von der Kraft- und Massenverteilung im Wagen, von den Schwingungen der Maschinen- und Wagenteile, von der erwähnten Ausgleichung der Motorkräfte und erst in letzter Linie von der Motorsteuerung. Dabei können Nebenteile des Motors, wie die Antriebsvorrichtung für die Magnetapparate, die Kühlpumpe usw., unter Umständen mehr Geräusch verursachen als der Motor selbst. Mit Ventilsteuerung kann geräuschloser Lauf erzielt werden, wenn die Ventile sanft auf geringen Hub gehoben und sanft geschlossen werden, was nur Sache richtiger Bauart ist. Die Hauptursachen geräuschvollen Motorlaufs bei hohen Geschwindigkeiten liegen in den Schwingungen der Maschinenteile. Jeder Maschinenteil hat seine eigene Schwingungslänge und -zeit und eine kritische Schwingung, wobei das Geräusch am stärksten wird. Fallen die kritischen Schwingungen mehrerer Teile zusammen, dann kann das Geräusch unerträglich werden. Hauptsächliches Mittel, geräuschlosen Gang zu erzielen, ist daher: die Einzelschwingungen zu vermeiden oder zu dämpfen, zu unterbrechen. Nebensächliche Mittel für den gleichen Zweck sind: die Verwendung von Schiebersteuerungen statt Ventilsteuerungen, das Einkapseln der Ventilsteuerungen usw. Die Hauptursachen des Geräusches sind von der Steuerungsart ganz unabhängig. Ein Erfolg der genannten Schiebersteuerung ist, daß gegenwärtig für alle Kraftwagen geräuschloser Gang gefordert wird, was früher nicht der Fall war. Dieser Forderung kann mit jedem richtig gebauten Ventilmotor entsprochen werden. Es gibt aber viele erfahrene Fahrer, die vollständige Geräuschlosigkeit wenigstens des Motors gar nicht wünschen: sie wollen, daß ihnen der Motor während der Fahrt etwas zu erzählen habe.

Richtige Wagenfahrt erfordert richtige Motor- und Wagensteuerung und richtige Lenkung, somit die Regulierung der treibenden und hemmenden Kräfte: Motor- und Bremsregulierung, die Handhabung beim Anfahren, die Handhabung der Kupplung und des Triebwerks, der Schaltvorrichtungen für Geschwindigkeitswechsel und der Bremsen.

Zunächst ist erforderlich Ankurbeln des Motors, da er nicht durch die eigene Energie anlaufen kann, weil das Kraftmittel nicht fertig vorliegt, sondern als brennbares Gemisch erst durch den Motorlauf gebildet werden muß, und weil der Zündung die Verdichtung des Gemisches vorangehen muß. Es ist daher Fremdenergie zum Andrehen erforderlich. Hierzu dienen Handkurbeln mit selbsttätiger Ausrückung, sobald die erste Zündung zustande gekommen ist. Dies wird durch die Batteriezündung sehr erleichtert, da sonst mit großer Geschwindigkeit angekurbelt werden muß, damit

der Magnetapparat Zündfunken geben kann. Das Ankurbeln kann bei großen Motoren, insbesondere in kaltem Zustande im Winter, sehr mühsam werden. Vorherige Benzineinspritzung in die Zylinder oder andere Hilfsmittel müssen dann aushelfen. Daher das Bestreben, motorische Andrehvorrichtungen anzubringen. Alle, auch die mit Preßluft betriebenen, haben sich jedoch als zu umständlich erwiesen. In vielen Fällen sind übrigens die Ursachen des erfolglosen Ankurbelns nicht im Motor, sondern im Vergaser, in mangelhafter Gemischbildung zu suchen, insbesondere in Übersättigung des Gemisches. Der Motor muß bei vorübergehendem Stillstand des Wagens, wenn wiederholtes Ankurbeln vermieden werden soll, mit möglichst geringer Geschwindigkeit leer weiterlaufen. Zu diesem Zwecke wird die Kupplung oder das Triebwerk ausgeschaltet. Die Kupplung gehört zur Motorsteuerung. Sie muß eine Reibungskupplung sein, die beim Wiedereinkuppeln das Triebwerk allmählich mitnimmt, denn der Motor läuft auch im Leerlauf mit 500 bis 600 Umdrehungen minutlich, so daß die Mitwirkung der Reibung beim allmählichen Mitnehmen des Wagens nicht entbehrt werden kann. Die Bauart der Kupplung ist sehr verschieden, je nach den Anforderungen, die erfüllt werden sollen: Kegelkupplung mit Lederbelag auf den Kegelflächen; Kupplung mit hintereinandergelegten Metallplatten (Lamellen), die gegeneinandergepreßt werden, so daß die Reibung durch Vermehrung der Plattenzahl beliebig vergrößert werden kann, wobei aber die Platten gut instand gehalten werden müssen, da bei Trockenlauf die Reibung zu groß wird, während bei Überschmierung sich die Platten schlecht voneinander trennen, daher die Lösung der Kupplung erschwert wird; Kupplungen mit Metallkegeln, die ganz eingeschlossen sein und stets in Öl laufen müssen, aber weniger empfindlich und leichter zu warten sind als die Plattenkupplungen usw.

Weiter erfordert die Wagensteuerung veränderliche Geschwindigkeitsübersetzung. Für langsame Fahrt muß größere, für raschere Fahrt geringere Übersetzung zwischen Motor und Hinterradantrieb eingeschaltet werden. Große Übersetzung ist im Sinne der Hebelübersetzung — wie allgemein im Maschinenbau — zu verstehen. Die Schaltung erfolgt ausnahmslos durch verschiebbare Räder, gewöhnlich in vier Schaltstufen. Beim vierten Gang treibt der Motor das Kegelrad der Hinterachse unmittelbar an (direkter Gang). Die übrigen Schaltgänge dienen zum Anfahren und für Steilfahrt. Für den Rückwärtsgang ist ein besonderes Rad zur Bewegungsumkehrung eingebaut. Diese Schaltvorrichtungen sind eigentlich roher Art; Beschädigungen und Brüche werden aber verhütet durch vorzügliches zähes Material der Räder und durch Abrundung der übereinander zu schiebenden Zähne sowie durch Vorsicht in der Handhabung, durch langsames Schalten, vollständiges Auskuppeln vor dem Schalten usw. Im Schaltwerk kommen bei guter Ausführung wenig Störungen vor, und der Arbeitsverlust durch die Räderübersetzung ist gering. Trotzdem dauern die Bestrebungen fort, andere Übersetzungsmittel anzuwenden, ohne bisher geglückt zu sein. Reibungsgetriebe sind untauglich, weil die Reibung zu unsicher ist und Reibungsräder große Unvollkommenheiten besitzen; hydraulische und elektrische Getriebe sind zu umständlich und schwierig instand zu halten. Die Geschwindigkeitsschaltungen haben durch ihre vollkommene Ausführung und dadurch viel an Wichtigkeit verloren, daß die Motoren immer mehr mit großen Überschußleistungen und mit weiten Regulierungsgrenzen gebaut werden (sogenannte „Elastizität" der Motoren), so daß kleine und mittlere Steigungen mit dem direkten Gang genommen werden können, selbst im Stadtverkehr mit diesem Gang auch langsam gefahren werden kann. Zur Handhabung der Schaltung dient ein Handhebel neben dem Führersitz, der in zwei Ebenen und Schlitzen (Kulissen)

in die vier Schaltstellungen gebracht werden kann. Die fünfte Stellung, für den Rückwärtsgang bestimmt und nur selten benutzt, erhält eine besondere Sperrung, damit dieser Gang nicht irrtümlich plötzlich eingeschaltet werden kann.

Zur Wagensteuerung gehören weiter die BREMSEN. Sie sind an der Hinterachse angebracht, und zwar je eine Bremse an jedem Hinterrade, von einem Handhebel neben dem Fahrersitz zu bedienen (Handbremse), und eine Bremse am Schaltgetriebe, die mit Übersetzung kräftig auf die Hinterachse wirkt und durch einen Fußhebel bedient wird (Getriebebremse). Vorderradbremsen sind gefährlich, da sie den Widerstand der Lenkräder plötzlich verändern. — Bei Steilfahrten bergab kann große Bremsarbeit Heißlaufen und selbst Versagen der Bremsen verursachen. Das kann der Fahrer auch bei schweren Wagen immer verhüten, wenn er rechtzeitig alle Mittel zur Verlangsamung des Wagenlaufs anwendet. Zu diesen Bremsmitteln gehört insbesondere der Motor, der im Leerlauf bei geschlossener Drossel vorgeschaltet, durch seinen Eigenwiderstand als Bremse wirkt. Wird gleichzeitig ein höherer Geschwindigkeitsgang vorgeschaltet und damit der Motor zu rascherem Mitlaufen gezwungen, dann ist die Bremsung durch den Motor so kräftig, daß Dauerfahrten bergab selbst ohne Zuhilfenahme der Hinterradbremsen möglich sind. Die Bremsen dienen dann nur zur gelegentlichen Ausgleichung der Motorbremswirkung. Dann werden die Bremsen auch nie heiß, bedürfen keiner Wasserkühlung, die wegen des Mitführens von Wasser und im Winter wegen des Einfrierens desselben immer unbequem ist. Den Motor in solcher Weise als Bremse zu benutzen, ist sehr zweckmäßig, weil die Bremswärme durch das Kühlwasser abgeleitet wird und der Motor nie warmlaufen kann. Es gibt auch Vorrichtungen, durch welche der Vergaser so umgeschaltet werden kann, daß der Motor als Kompressorbremse wirkt. Der Motor als Bremswiderstand wird bei vielen Wagen nicht benutzt, weil während der Bremswirkung im Motor die selbsttätige Schmierung fortdauert und bei unzweckmäßiger Anordnung eine Verölung der Zündkerzen eintreten kann. Das läßt sich aber durch richtige Schmierung leicht vermeiden. Versagen, Abnutzung, Heißlaufen oder Glühendwerden der Bremsen und damit die Notwendigkeit, die Bremsen während der Fahrt zu kühlen, ist stets die Folge unzweckmäßiger Bauart oder unzweckmäßiger Handhabung. Nicht rechtzeitiges und jedes plötzliche Bremsen ist stets gefährlich; letzteres nutzt auch wenig, da mehr als das Festhalten der Hinterräder (Blockieren) und darauffolgendes Schleifen der Räder nicht erreicht werden kann. Unter Zuhilfenahme des Motors als Widerstand verfügt der vorsichtige Fahrer über mehr als ausreichende Mittel zur rechtzeitigen Beherrschung der Fahrgeschwindigkeit.

Die Bergstütze ist als ein Notbehelf, von dem nur ausnahmsweise Gebrauch zu machen ist, nicht als sicherwirkende Stütze auf Steilstrecken anzusehen und gehört ihrer Natur nach zu den rohen und unzuverlässigen Hilfsmitteln, die mit größter Vorsicht anzuwenden sind. Das Rückrollen des Wagens auf Steilstraßen kann durch die Bergstütze selbsttätig nie sicher verhütet werden. Wird sie ständig nachgeschleift, dann wird sie auf schlechten Straßen beschädigt, wird sie erst im Bedarfsfalle herabgelassen, dann können ihre Gelenke versagen, oder sie kann auf harter Straße unsicher fassen, auf weicher sich zu tief einbohren usw. Sie darf daher nur so benutzt werden, daß der gebremste Wagen vorsichtig aufgestützt wird, um später ohne Bremse sofort anfahren zu können.

Der Fahrer hat daher während der Fahrt zu bedienen: die Gemischdrossel und Zündverstellung durch Handhebel auf dem Lenkrade oder Fußhebel, die Kupplung und die Getriebebremse durch Fußhebel, außerdem den Schalthebel, das Lenkrad und das

Signal. Der Handhebel für die Hinterradbremsen wird nur auf langen Gefällen gebraucht. Schließlich benötigt der Fahrer eine während der Fahrt leicht erkennbare Anzeige des Schmierzustandes des Motors und des Drucks im Benzinbehälter, ausnahmsweise auch die Bergstütze. Schädlich ist es, dem Fahrer ständig mehr als die Bedienung und Beobachtung dieser Teile zuzumuten. Viele Ausrüstungen, insbesondere von Luxuswagen, sind nur Überflüssigkeiten. Notwendig sind noch verschiedene Schutzvorrichtungen: Schutz aller geschmierten Maschinenteile durch Einkapslung, zugleich Schutz gegen Ölverlust, Schutz des Motors durch Überdeckung (Motorhaube), Spritzwand hinter dem Motor, ausreichend für die Anbringung der Hilfsvorrichtungen, Fußbodenbelag, der gegen Öl und Wärme schützt und die Zugänglichkeit der darunter befindlichen Teile wahrt, Kotflügel, Trittbretter usw. Außerdem Ausrüstung für lange Fahrt: ausreichende Werkzeuge und Ersatzteile, Reifen, Luftschläuche, Laternen, Verdeck für Fahrt bei jeder Witterung, eiserner Vorrat an Benzin und Öl, entsprechende Kleidung, Karten, Uhr, Ausweispapiere und — Geld.

Kraftwagenfahrten fordern vom Fahrer richtige Schätzung und Voraussicht und richtiges dynamisches Gefühl, wie es für verschiedene Sportbetätigungen erforderlich ist. Wer dieses Gefühl besitzt, erlernt das Fahren sehr rasch. Körperliche Kraft und Ausdauer ist nur für Dauerfahrten und bei schlechtem Wetter, auf glatter Bahn usw. erforderlich. Rasches Fahren ist reine Sportsache und bringt keinen durchschnittlichen Gewinn. Mit Kleinwagen kann auf guten Straßen ein Durchschnitt über 40 km stündlich erreicht werden, mit Großwagen etwa 50 km. Um wesentlich höheren Durchschnitt zu erreichen, müßte zeitweilig mit über 80 km gefahren werden, wofür genügend lange Fahrstrecken im allgemeinen nicht vorhanden sind. Daher bringen Fahrgeschwindigkeiten schon über 60 km wenig Durchschnittsgewinn, sondern eher Verlust, weil die Störungen infolge Erhitzung der Reifen zur Fahrzeit gezählt werden müssen. Durch die Rennreklame ist einseitige Überschätzung der Fahrgeschwindigkeiten in weite Kreise getragen worden, so daß Wagen, die nicht 70—90 km fahren, nicht leicht gekauft werden, obwohl aus den hohen Geschwindigkeiten kein praktischer Nutzen zu ziehen ist.

Kraftwagenfahrten sind an Straßenordnungen und Fahrvorschriften gebunden, die meist sehr einfach sind, von Kraftwagen auch meist eingehalten werden, von Pferdefuhrwerken hingegen nur selten, da diese seit dem Auftreten der Eisenbahnen Alleinherrscher auf den Straßen waren und die Polizeiorgane aller Länder große Unordnung der Pferdefuhrwerke dulden. Die Gerichte halten Kraftwagen für besonders gefährlich, was durchaus unrichtig ist. Die Kraftwagenfahrt bringt bei genügender Vorsicht keine eigentliche Gefahr. Unfälle entstehen fast nur durch zu schnelles Fahren an unpassender Stelle, durch plötzliches Ablenken oder Bremsen, durch unzureichende Straßenordnung und außerdem durch unberechenbare Handlungen von Menschen und Tieren im letzten Augenblick, wo die Voraussicht des Fahrers nicht mehr helfen kann. Reifenschäden sind, entgegen der allgemeinen Meinung, selten Ursache von Unfällen. Die Reifen versagen selten in Kurven, sondern platzen erst beim Heraustreten in die Gerade, wo der geübte Fahrer die Folgen leicht beherrscht. Gefährliche Fahrhindernisse sind die schlechtgehaltenen Straßen, insbesondere die nachträglichen Verschlechterungen der Straßen durch Trambahnen, Eisenbahnunterführungen, Übergänge usw.

Zum Wagenbetrieb gehört die Wageninstandhaltung, die meist dem Berufsfahrer überlassen wird. Die Eignung des Fahrers als Mechaniker, seine genaue Kenntnis des Wagens und aller Teile ist sehr wesentlich. Es wird aber meist nur auf Fahr-

übung gesehen. Die Mängel liegen in der Ausbildung, die nur noch Fahrer schafft. Richtige Mechaniker- und Fahrerausbildung können nur die Fabriken gewähren, diese sorgen aber nur für den eigenen Bedarf. Zur Instandhaltung gehören weiter: das Garagewesen, die Reparaturwerkstätten und die Organisation zum Bezug von Verbrauchs- und Ersatzteilen. In dieser Hinsicht wird in Großstädten vielfach Hervorragendes geboten, in weiten Landen aber ganz Unzureichendes. Wirkliche Vorteile bieten die Organisationen mehrerer großen Fabriken, aber nur wenige Fabriken besitzen eine Organisation, die viele Länder und alle größeren Städte umfaßt und den Interessenten im Bedarfsfalle durch eigene geschulte Kräfte ausreichend dienen kann.

5. KRAFTWAGENART

Die vielen Arten von Kraftwagen, die für verschiedene Verwendungszwecke notwendig werden, sind gegenwärtig in allen größeren Städten zu sehen. Luxus- und Reisewagen, Droschken und Gebrauchswagen aller Art, Geschäftswagen, Omnibusse und immer mehr auch schwere Lastwagen gehören zu jedem modernen Stadtbild. Weniger beachtet sind die vielen Betriebsumgestaltungen, die sich innerhalb der Städte im Zusammenhang mit Geschäfts- und Transportunternehmungen und auch in städtischen Betrieben vollziehen, z. B. die zunehmende Automobilisierung der Berufsfeuerwehr, ihrer Spritzen-, Mannschafts- und Leiterwagen, die Benutzung der Kraftwagen für städtische Straßenpflege als Spreng-, Reinigungs- und Abfalltransportwagen, ferner als Kranken- und Rettungswagen, von denen besondere Raschheit und Bequemlichkeit gefordert werden. Noch weniger bekannt ist die große Zunahme von Kraftwagen in der Landwirtschaft, der Motorpflüge und Transportwagen, die zugleich als Kraftquelle für landwirtschaftliche Innenbetriebe dienen, sowie die Verwendung der Automobilfahrzeuge im Bauwesen, für Aufzüge, Beton- und Mörtelmaschinen, Baupumpen usw. Jede besondere Wagenart bietet in ihrer Entwicklung und Eigenart auch für Nichtsachkundige Interesse. An dieser Stelle kann aber nur eine Wagenart, die schweren Lastwagen, hervorgehoben werden, um anzudeuten, wie grundlegende Forderungen des besonderen Verwendungszweckes die ganze Wagenbauart beeinflussen.

LASTKRAFTWAGEN. Im Entwicklungsgange des Personenautomobils bedurfte es zu Anfang nur der technischen Leistung des raschfahrenden Wagens, um für solche Wagen in Sportkreisen sofort Liebhaber und Abnehmer zu finden, die zudem leicht zu befriedigen waren, da mehr als eine nach damaligen Begriffen hohe Fahrgeschwindigkeit kaum gefordert wurde. Die Wirtschaftlichkeit des Personenautomobils ist auch jetzt noch untergeordnet und spielt nur für öffentliches Fuhrwerk eine Rolle. Das Personenautomobil konnte dabei von Anfang an den Wettbewerb anderer Wagen durch überlegene Geschwindigkeit allein aus dem Felde schlagen. Dem Lastwagen konnte kein solches Sportzeitalter erblühen, sondern er mußte von vornherein hohe technische und wirtschaftliche Leistungen nachweisen, um sich sein Dasein zu erkämpfen. Das Anwendungsfeld war durch das gewöhnliche Pferdefuhrwerk und durch die weltbeherrschende Lokomotiveisenbahn besetzt. Der Kraftwagen konnte nur durch Überlegenheit über diese beiden ganz verschiedenartigen Konkurrenten emporkommen: der eine schlecht und billig, der andere übermächtig, aber auf Massentransport angewiesen.

Die Entwicklung war daher notwendig eine langsame, mühe- und hemmungsvolle, ein harter Kampf, bis das Vertrauen der Interessenten gewonnen werden konnte.

Wesentlich ist auch die Abhängigkeit von der Witterung und dem Straßenzustande. Der Personenwagen ist in der Lage, diese Abhängigkeit entweder zu vermeiden oder die Hindernisse, die Wetter und schlechte Straßen schaffen, mit großer Überschußleistung zu überwinden. Für Sportwagen bringen Fahrten im Winter, in unzivilisierten, straßenlosen Ländern Leben und Abwechslung in den Betrieb. Der Lastkraftwagen muß dagegen den wirtschaftlichen Wettbewerb mit dem Pferdefuhrwerk und der Eisenbahn bestehen; aber während diese beiden in Wetters- und Wintersnöten ihre Zugkraft durch Vorspann verstärken können, muß er mit seiner eigenen Kraft auskommen. Unabhängigkeit von der Witterung wird für ihn zur Lebensfrage.

Der Lastkraftwagen mußte daher technisch vollkommen sein und wirtschaftlich Hohes leisten, bevor er überhaupt Interessenten und Abnehmer finden konnte. Die wirtschaftliche Leistung wird für ihn zum Lebenselement, ganz anders als beim Personenwagen. Naturgemäß schaffen alle diese Forderungen, die an den Lastkraftwagen gestellt werden, große bauliche Schwierigkeiten.

Gegenüber dem Pferdefuhrwerk war zunächst aufzukommen durch Geschwindigkeitssteigerung und hohe Leistung. Aber die vergrößerte Leistungsfähigkeit macht wieder den wirtschaftlichen Wettbewerb schwer, weil das stärkere Kraftfahrzeug von vielen Unternehmungen nicht genügend ausgenutzt und für sie gerade durch die gesteigerte Leistungsfähigkeit wirtschaftlich zu teuer werden kann, wenigstens so lange, bis sich durch das Kraftfahrzeug der Betrieb wesentlich verdichtet hat.

Dann erhebt sich in ernstester Weise die Fahrerfrage. Für die Personenwagen waren schon in ihrer ersten Entwicklung immer die erforderlichen Fahrer zu finden. Die Besitzer von Lastwagen hatten stets und haben noch Schwierigkeiten, tüchtige, geschulte Fahrer für ihre Wagen zu finden. Die Fahrer sind wenig geneigt, vom bequemen und lohnenden Betrieb des Personenwagens zum Güterdienst überzugehen. Außerdem — und das verschärft die Fahrerfrage noch — müssen die teuren Lastwagen dem wirtschaftlichen Grundsatze der stärksten Betriebsausnutzung dienen. Pausen durch Betriebsstörungen müssen ganz ausgeschlossen sein, und es muß, wieder in stärkstem Gegensatz zu den Personenwagen, meist mit wenig unterbrochenem Betriebe gerechnet werden.

Ein einziger Vorteil ist dem Lastwagen in seiner Entwicklung beschieden: er ist unabhängig von Mode- und Formfragen, und kein Liebhabereinfluß spricht in seiner Ausbildung mit. Es entscheiden nur die Kosten, die Leistung, die Wirtschaftlichkeit, der Ertrag, die richtige Anpassung an die gegebenen Verhältnisse, die aber ausnahmslos schwierig sind. Und alle Schwierigkeiten werden bei Lastwagen gleich zu Lebensfragen: Betriebskosten, Brennstoff- und Ölverbrauch, Reifenverbrauch, Reparaturkosten, Verzinsung und Abschreibung, Fahrtenausfall usw. sind für sie im Gegensatz zu den Personenwagen von entscheidender Bedeutung. Auch hohe Lebensdauer ist für den Lastwagen von größter Wichtigkeit; beim Personenwagen ist sie mit Rücksicht auf das Abwechslungsbedürfnis vieler Fahrer fast schon zu groß.

In der Entwicklung der Lastwagen konnte auch nicht mit der werbenden Kraft von Wettrennen gerechnet werden. Den Leistungen der Schwerwagen bringt das große Publikum wenig Interesse entgegen. Auch die Reklame konnte nicht in gleichem Maße wie für Personen- und Sportwagen wirken. Unter diesen Umständen ist das Verdienst der Fabriken, die ihren Lastwagen trotz aller Hemmnisse zum Siege verholfen haben, sehr hoch zu schätzen.

Im Kampfe gegen das alte Pferdefuhrwerk, das wirtschaftlicher Berechnung fast nie unterliegt, und gegen die übermächtigen Eisenbahnen, auf welche aller Verkehr schon

seit Jahrzehnten zugeschnitten war, mußten die Pioniere der Lastkraftwagen ein Verwendungsfeld erst mühsam erkämpfen, mußten vor allem besondere örtliche Verhältnisse ausfindig machen und studieren, wo etwa neben den üblichen Fuhrwerken und der Eisenbahn noch ein erfolgversprechender Betrieb von Lastwagen möglich war, und diesen besonderen Verhältnissen die Bauart der Wagen richtig anpassen. Zunächst mußte versucht werden, in diejenigen Lücken einzudringen, die der Eisenbahnbetrieb offengelassen hatte, weil ihm ihre Ausfüllung zu schwierig oder zu wenig lohnend war. So ergaben sich als Verwendungsarten: Lastwagen für Fabriken mit benachbartem Absatzgebiet bei verhältnismäßig kurzen Transportstrecken, ohne störenden Eisenbahnumladeverkehr (Brauereien, chemische Fabriken usw.), Omnibusse unter Straßenverhältnissen, die für Straßenbahnen zu ungünstig waren, namentlich inmitten von Großstädten und alten Stadtteilen — die Einführung des Omnibusbetriebs in London und Paris hat insbesondere diesem Fortschritt gedient —, Gebirgslastwagen und Omnibusse als Ersatz teurer Adhäsions- oder Zahnradbahnen, wobei die Unabhängigkeit von Witterungseinflüssen schwer ins Gewicht fiel.

In allen diesen Fällen mußte zugleich, mit Rücksicht auf die Bedeutung des Lastwagens für Kriegszwecke, das Ziel verfolgt werden, kriegsbrauchbare Wagen zu schaffen, an die höchste Anforderungen hinsichtlich Leistung und Zuverlässigkeit gestellt werden können. Wesentliche Widersprüche mit den wirtschaftlichen Forderungen ergeben sich hierdurch nicht. Die Subventionierung kriegsbrauchbarer Wagen, 1908 eingeführt, hat die Entwicklung der Lastwagen mächtig gefördert. Nicht so sehr durch die Subvention selbst (4000 M Beschaffungszuschuß und 1000 M jährlicher Betriebszuschuß für fünf, jetzt vier Jahre), als durch das Eingreifen der Heeresverwaltung an sich, in deren Wahl eine Gewähr für besondere Zuverlässigkeit erblickt wurde. Infolge der Subventionierung ist die Einführung kriegsbrauchbarer Kraftwagen rasch vor sich gegangen, und es sind jetzt schon gegen 700 deutsche Subventionswagen vorhanden.

Die den Verkehr künstlich zusammendrängenden Schienenbahnen sind vielfach Monopol geworden, und weil sie sich schlecht oder gar nicht an die örtlichen Verhältnisse anpassen, ist in der weiteren Folge ein ebenso unnatürliches Netz von Kleinbahnen als Zubringer an sie angeschlossen worden, das gleichfalls in Anlage und Betrieb teuer ist, ohne genügende Anpassungsmöglichkeit zu bieten.

Wenn die Straßen, die seit mehr als einem Jahrhundert nur Ausdehnung, aber keine wesentliche Verbesserung erfahren haben, für Massenverkehr verbessert werden, und wenn der Verkehr richtig organisiert wird, dann kann der Kraftwagen auch für einen großen Teil des Gütertransports weitere Bedeutung erlangen. Inzwischen wird das endlose Netz von Kleinbahnen mit großen Kosten weiter ausgebaut, während bei richtiger und rechtzeitiger Würdigung der Sachlage das aufzuwendende große Nationalvermögen an vielen Stellen zweckmäßiger und mit größerem Nutzen für das Land angelegt werden könnte als im Bau von Nebenbahnen. —

Die Grundlagen und wesentlichen Einzelheiten der Lastwagen sind von denen der Personenwagen in dem Maße verschieden, wie der Zweck beider auseinandergeht. Dem Personenwagen entspricht hohe, stark veränderliche Fahrgeschwindigkeit, geringe Nutzlast und Gesamtmasse; dem Lastwagen hingegen mäßige, nur in engen Grenzen veränderliche Fahrgeschwindigkeit und große Masse. Die Fahrgeschwindigkeit von Lastkraftwagen ist gesetzlich beschränkt, und zwar für Fahrzeuge im Gesamtgewicht von über 5,5 t mit Gummibereifung auf 16 km stündlich, für solche mit Eisenbereifung auf 12 km.

Eine große Schwierigkeit und eine Lebensfrage für Lastwagen ist die Bereifung. Harte Reifen, Eisenreifen, mit denen die ersten Lastkraftwagen den Betrieb aufgenommen haben, sind nur für geringe Geschwindigkeiten geeignet; auf Schnee und schlüpfrigen Straßen sind sie unbrauchbar, können also wesentlich nur im Sommerbetriebe verwendet werden. Stoßwirkungen und Geräusch werden durch harte Reifen nicht gedämpft, und die Kosten von Wagenreparaturen sind infolge der unvermittelt übertragenen Stoßkräfte außerordentlich hoch. Außerdem ist bei hohen Fahrgeschwindigkeiten die Straßenzerstörung aus dem gleichen Grunde bedeutend.

Vollgummireifen gewähren mehr Nachgiebigkeit, sind weniger von der Witterung und dem Straßenzustande abhängig als Eisenreifen und werden deshalb zunehmend angewendet. Vollgummi gibt infolge der kleinen Eindrückungen wenig Federung, aber gegenüber Eisenbereifung wesentliche Geräuschdämpfung. Große Stoßwirkungen werden unvollkommen umgeformt. Luftreifen, die den Zweck haben, die Umformung der Stoßenergie an der Lauf- und Stoßstelle selbst zu erzielen, sind für Lastwagen in besonders kräftiger Bauart, auch als Doppelreifen, vielfach ausgeführt und versucht worden. Sie sind aber für schwere Wagen unbrauchbar und ihre Betriebskosten zu hohe.

Störungsfreier Dauerbetrieb ist für Lastwagen unerläßliche Forderung, daher Unabhängigkeit von der Witterung und dem zufälligen Straßenzustande Voraussetzung. Dies schließt Eisenreifen zum größten Teil aus. In allen Fällen ist die Erhöhung der Adhäsion, d. i. der Umfangsreibung an der Lauffläche der Triebräder, wesentlich und kann nur zeitweilig durch ungewöhnliche Maßnahmen erreicht werden.

Die größten Schwierigkeiten bereiten schlüpfrige Straßen, sowie Eis und Schnee, insbesondere auf Steigungen, wenn gleichzeitig die größte Umfangs- und Zugkraft erforderlich ist. Für Wagen der Heeresverwaltung ist es unerläßlich, auf beliebigen Straßen und bei jeder Witterung durchzukommen. Deshalb sind auch stets harte Winterversuche mit den Lastwagen durchgeführt worden.

Trotz aller Schwierigkeiten dringen in neuerer Zeit die Lastwagen nach allen Richtungen siegreich vor und sind überall wichtige Faktoren des Verkehrs geworden. Die Lastwagen gehören jetzt schon zum Verkehrsbilde der Städte und Landstraßen, ebenso die Kraftomnibusse, die durch ihre größere Beweglichkeit selbst gegen Straßenbahnen aufkommen, mit denen sonst innerhalb des dichten Verkehrs kein erfolgreicher Wettbewerb möglich ist. Alte Städte, wie Paris und London, in denen dem Verkehrsbedürfnis durch Straßenbahnen nicht ausreichend entsprochen werden konnte und deren Bewohner schon fast dazu verurteilt waren, nur noch unterirdisch zu fahren, sind durch die Kraftomnibusse neu belebt worden und haben eine tiefgreifende Umgestaltung ihrer Verkehrsverhältnisse erfahren. Verkehrsfördernd hat der Kraftwagen auch auf den Transport zwischen Ortschaften gewirkt, die wegen unzureichenden oder nur auf wenige Monate beschränkten Verkehrs oder wegen Schwierigkeiten des Geländes zu Nebenbahnen nicht gelangen konnten. Die Gebirgswagen sind im Bereiche von Gebirgsbefestigungen häufig geworden und werden als Transportmittel in schönen Gegenden aus ästhetischen Gründen zwar lebhaft verwünscht, aber noch eifriger benutzt.

In der Verwendung der Kraftomnibusse ist die Königlich Bayerische Verwaltung bahnbrechend vorangegangen und hat sich damit vom üblichen Ausbau der Kleinbahnen abgewendet.

Die deutsche Kraftlastwagenerzeugung war vor zehn Jahren ganz unbedeutend und betrug etwa 30—40 Stück jährlich. Gegenwärtig hat sie sich mehr als verdreißigfacht.

6. KRAFTWAGENWERTUNG

Die Wagenwertung ist anfänglich nur durch Wettrennen erfolgt, also nur nach Geschwindigkeitsleistungen. Alle andere Wertung daneben war unbestimmte mündliche Überlieferung oder nur willkürliche Anpreisung. Die Rennwertung hat sich als außerordentlich erfolgreich erwiesen im Zusammenhang mit dem großen öffentlichen Interesse, das große Rennen finden und im Zusammenhang mit der bei diesen Anlässen besonders wirksamen Reklame, die die Erfolge in weite Kreise, auch der Nichtsachverständigen, trägt. Die Rennen haben einen scharfen Wettbewerb wachgerufen, der stets Voraussetzung der Vervollkommnung ist. Die Rennen haben den Fabriken,

Abbildung 8. Büssing-Triebwagen des Armeelastzuges auf dem Prüfstande.

die der Anregung folgten, sehr große Opfer auferlegt, der Fortschritt ist auch der Allgemeinheit zugute gekommen, denn die abseitsstehenden Fabriken wären außerstande gewesen, eine gleich ergiebige Material- und Leistungserprobung zu wagen. Hier liegt auch das große Verdienst der sogenannten „Rennfirmen", die Pionierarbeit geleistet haben, aber ihrerseits aus der öffentlichen Wertung und aus dem industriell gewonnenen großen Vorsprung Nutzen ziehen konnten. Der Fortschritt infolge der Rennen war ein beispiellos rascher, auch mit dem Maßstab unserer stürmenden Zeit gemessen. Bei der ersten Wettfahrt Paris—Rouen 1894 wurden 20 km Geschwindigkeit erreicht; nur wenige Wagen erreichten das Ziel, und auf allen Steigungen mußte geschoben werden. 1895 wurden auf der Wettfahrt Paris—Bordeaux auch nur 20 km Durchschnittsgeschwindigkeit erreicht, aber doch von einem großen Teil der Wagen 2000 km zurückgelegt. Kurz darauf ist die große als Volksfest behandelte Fernfahrt

Paris—Madrid unter zahlreichen Unfällen verunglückt und hat schweren Rückschlag gebracht. Das waren die aufsehenerregenden, aber industriell noch wenig versprechenden Anfänge. Wie bescheiden die Wertung des Kraftwagens außerhalb des Sports war, kennzeichnet eine Angabe im Katalog einer führenden französischen Fabrik (Panhard & Levassor), worin noch 1902 empfohlen wird, vom dritten Schaltgange mit der Höchstgeschwindigkeit von 30 km nur ausnahmsweise und mit der größten Vorsicht Gebrauch zu machen. Erst mit dem 20. Jahrhundert, mit der Vervollkommnung der Materialien und der Konstruktionen beginnt die Entwicklung im großen. 1900 wurden beim Rennen Paris—Toulouse zum erstenmal Durchschnittsgeschwindigkeiten von 60 km erreicht, 1901 auf der Fernfahrt Paris—Berlin über 80 km, also mehr als Schnellzüge erreichen. Später wurden 100 km Durchschnitts- und 150 km Höchstgeschwindigkeit erreicht, in Teilrennen Geschwindigkeiten von 150—200 km und mit einem 200pferdigen Benzwagen sogar 225 km. Solche großen technischen Leistungen,

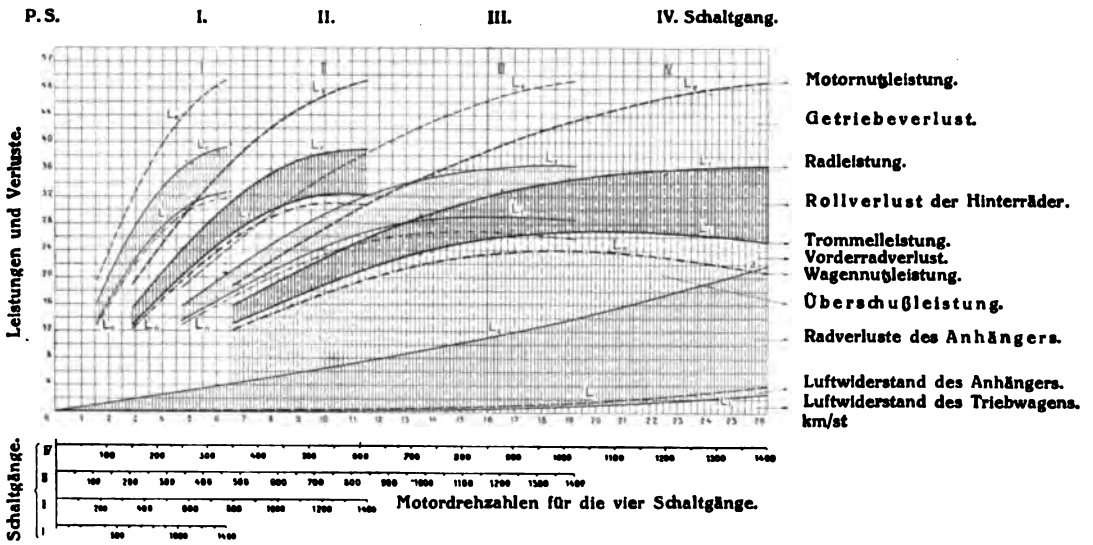


Abbildung 9. Fahrdiagramm des Büssing-Armeelastzuges mit Anhängewagen.

die nur mit ungewöhnlichen, sehr vollkommenen Mitteln erreichbar sind, mußten auf die öffentliche Wertung von Kraftwagen und der siegreichen Marken großen Einfluß ausüben. Ohne die Rennen und ihre Erfolge hätten die Konstruktionen, wie auf anderen Maschinengebieten, auch in unserer Zeit Jahrzehnte gebraucht, um sich durchzusetzen. Die Sportsleute haben auch das allgemeine Interesse für Kraftwagen wachgerufen.

Die Kehrseite dieses Wertungsverfahrens ist die Einseitigkeit, daß Geschwindigkeitsleistung allein oder doch überwiegend gewertet wird, und daß zugleich alle nebensächlichen und subjektiven Einflüsse während der Fahrt mitgewertet werden, die mit dem sachlichen und wirtschaftlichen Werte des Wagens nichts zu tun haben. Eine Folge hiervon ist, daß Höchstgeschwindigkeiten für praktische Zwecke überschätzt werden, daß die Käufer aller Wagen hohe Geschwindigkeitsleistungen fordern, die für die meisten Zwecke unnütz oder schädlich sind und nur auf Kosten anderer wertvoller Wageneigenschaften erlangt werden. In weiten Kreisen ist unbekannt, daß die außerordentlich hohen Rennleistungen nur durch besondere Rennwagen, für den besonderen Rennzweck gebaut, erreichbar sind, daß die Wertung daher auf anders gebaute Wagen gleicher Marke, auf Gebrauchswagen, die mit dem Rennwagen nur wenig oder keine

Ähnlichkeit besitzen, nicht übertragbar ist. Durch die Rennen werden subjektive Verhältnisse, das Geschick oder Glück des Fahrers und alle Zufälligkeiten mitgewertet,

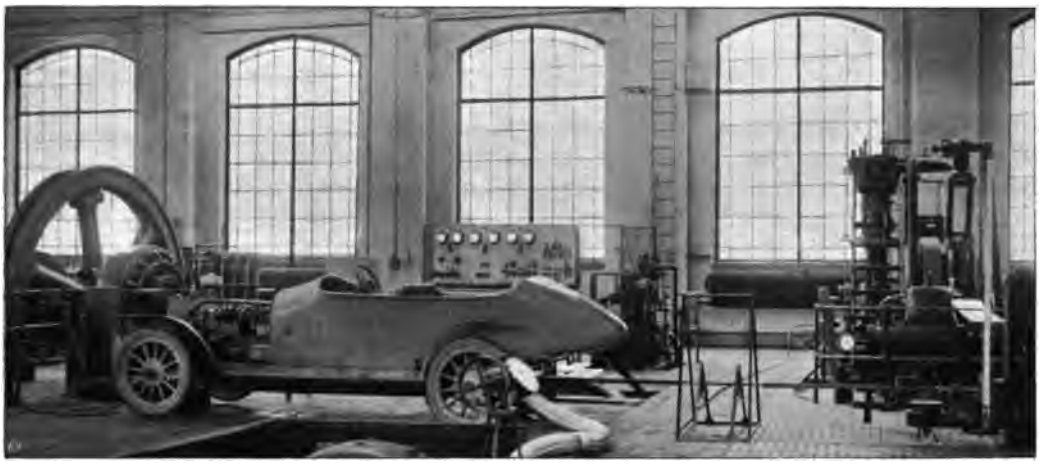
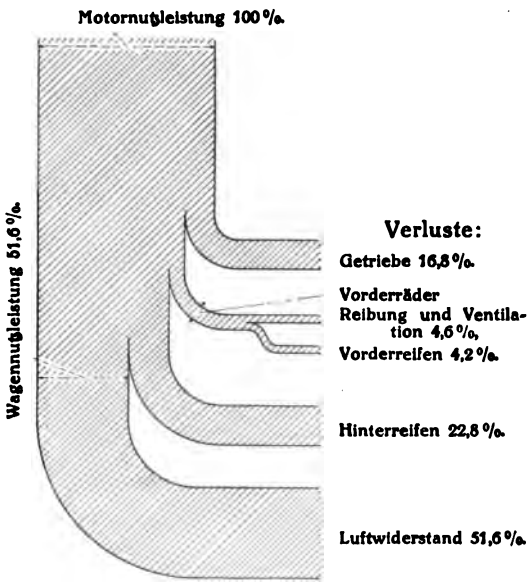


Abbildung 10. 100-P.S.-Benz-Rennwagen auf dem Prüfstande.

was dem Sport gemäß, aber für den wirklichen Wert der Wagen belanglos ist. Daher mußten die Rennen immer mehr an Bedeutung verlieren, in dem Maße, als die Zahl der Rennveranstaltungen zunahm und nur noch besondere Rennwagen, für die jeweiligen Rennvorschriften gebaut, Aussicht auf Erfolg haben konnten. Ein Jahrzehnt lang ist mit riesigen Kosten nur die Geschwindigkeitsleistung angepriesen und beim Kauf als das Wichtigste hingestellt worden, und die Geschwindigkeitsforderungen der Käufer haben sich danach gerichtet, eine notwendige schädliche Folge der subjektiven und einseitigen Geschwindigkeitswertung. Von jedem Wagen werden daher sinnwidrige Höchstgeschwindigkeiten gefordert, unbekümmert um die sonstigen Wageneigenschaften und meist zum Schaden des Käufers.



Abbild. 11. Energiediagramm des 100-P.S.-Benz-Rennwagens für 134 km/stdl. Fahrgeschwindigkeit.

Richtige sachliche Wertung muß rein objektiv sein und frei von zufälligen Einflüssen, und es müssen durch unmittelbare Messung die technischen und wirtschaftlichen Verhältnisse festgestellt werden: Nutzleistung und Verluste und eine vollständige Energie- und Verlustbilanz, an besonders gebauten Wagen: die erreichbaren Höchstleistungen und Mindestverluste, um die erreichbaren Grenzwerte und damit die Verbesserungsmöglichkeiten festzustellen. Dann müssen über die Energiefragen hinaus die wesentlichsten wirtschaftlichen Verhältnisse ermittelt werden, insbesondere der Betriebsverbrauch und die Zuverlässigkeit, da hiervon in erster Linie die Betriebskosten, die Lebensdauer, die Instandhaltungskosten usw. abhängen.

Solche objektive Wertung durch Vergleichsfahrten erreichen zu wollen, wäre außerordentlich umständlich und ganz unzulänglich, weil während der Fahrt nichts genügend beobachtet, nichts gemessen, nichts Wesentliches verändert und in Ursache und Wirkung zergliedert werden kann. Deshalb sind selbst ernsthaft betriebene Zuverlässigkeitsfahrten ohne brauchbare Ergebnisse geblieben. Richtige und genügend umfassende objektive Wertung ist nur möglich auf besonderen Kraftwagenprüfständen. Solche Prüfstände sind schon vor sieben Jahren bei den Automobilklubs in Paris und Neuyork, an zwei amerikanischen Universitäten und an einer Technischen Hochschule geschaffen worden. Außerdem hat die Pennsylvania-Eisenbahn einen großen Lokomotivprüfstand errichtet, der gleiche Zwecke verfolgt. Von keinem dieser Prüfstände sind vollständige Wagenuntersuchungen hervorgegangen, wesentlich wegen unzweckmäßiger Behandlung und auch wegen einiger sachlichen Schwierigkeiten. Diese sind erst durch den Prüfstand im Laboratorium für Kraftwagen der Technischen Hochschule zu Berlin überwunden worden, auf dem seit zwei Jahren Kraftwagen aller Art, auch Rennwagen und Lastwagen, vollständig untersucht wurden, wobei der Wagenlauf auf dem Prüfstande selbst bei diesen ungewöhnlichen Wagen genau dem praktischen Fahrbetrieb entsprechend hergestellt werden konnte.

Die Erprobung besteht darin, daß der zu untersuchende Wagen mit den Hinterrädern auf die Prüftrommeln gestellt wird und der Wagenmotor diese Trommeln treibt, wobei die Leistungen im ganzen und im einzelnen und zugleich die Zugkräfte gemessen werden und jede Trommel durch eine Bremsdynamo belastet ist. Werden diese Dynamomaschinen als Elektromotoren geschaltet, und wird der Wagen solcherart durch die Prüfstandstrommeln angetrieben, dann können die Widerstände im Wagen einzeln und zusammen bestimmt werden. Außerdem werden noch Teilversuche am ausgebauten Motor, Kühler usw. auf besonderen Prüfständen vorgenommen. Die Versuchsmethoden, Berechnungen und Ergebnisse sind bisher in zehn Berichten des Laboratoriums unter dem Titel „Wissenschaftliche Automobil-Wertung" veröffentlicht. Die Ergebnisse sind, da hier ein wissenschaftlich noch unbearbeitetes Gebiet vorlag, sehr reichhaltig und ergeben vollständige Übereinstimmung der Prüfungs- und Fahrergebnisse, in der Aufklärung von Ursache und Wirkung hingegen von den Überlieferungen ganz abweichende Aufschlüsse, die weitere Fortschrittsmöglichkeiten eröffnen.

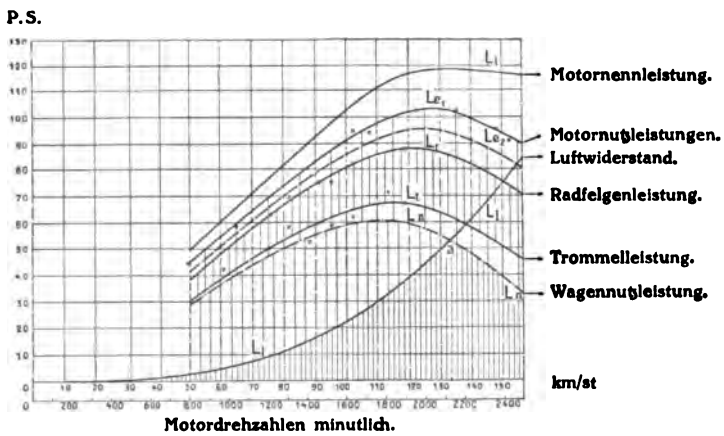


Abbildung 12. Fahrdiagramm des 100-P.S.-Benz-Rennwagens für den direkten Schaltgang.

Die wesentlichen Prüfungsergebnisse liegen in den Diagrammen der Nutzleistungen und Verluste im Motor und in den Wagenteilen; sie lassen sich übersichtlich zusammenfassen in Fahrdiagrammen (Abbildung 9 und 12), die die Leistungen bei den verschiedenen Schaltgängen, bei Fahrt in der Ebene und auf Steigungen graphisch darstellen, und in Energiediagrammen (Abbildung 11 und 14), welche die Einzelleistungen und -verluste erkennen lassen.

Diese Fahr- und Energiediagramme werden vervollständigt durch besondere Darstellungen der Motornutzleistungen, der Motor-, Getriebe- und Reifenverluste, der Überschußleistungen und Beschleunigungsvermögen des Wagens, des Benzin- und Ölverbrauchs usw., und zwar für alle vorkommenden Motor- und Wagengeschwindigkeiten sowie Betriebsarten. Schon bei diesen Messungen werden die wesentlichsten Schwächen und die Mängel des Wagens erkannt. Die Reklameangaben über Benzin- und Ölverbrauch sind besonders irreführend, da stets die überhaupt erreichbare Motorhöchstleistung angegeben wird und daneben der günstigste Benzinverbrauch bei viel geringerer Leistung, also Werte, die wirtschaftlich nie zusammengehören. Die objektive Wertung auf dem Prüfstande ergibt somit unmittelbaren zahlenmäßigen Aufschluß über die wichtigsten Fragen, die den Benutzer des Kraftwagens interessieren: Was leistet der Wagen und was verbraucht er hierbei? Welches ist seine Überschußleistung, sein Beschleunigungs- und sein Steigungsvermögen? Wie groß sind die Verluste im ganzen und im einzelnen? Welches sind die Vorzüge, Schwächen und Mängel des Wagens und welches die Verbesserungsmöglichkeiten?

Abbildung 13. 75-P.S.-Adler-Rennwagen auf dem Prüfstande.

Die weitere wirtschaftliche Wertung ist abhängig von der nachzuweisenden Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit als Maßstab für die Lebensdauer, Reparaturbedürftigkeit usw. Auch diese Wertung ist in richtiger Weise nur auf dem Prüfstande möglich, nicht aber durch Probefahrten allein zu erreichen. Das läßt sich aus vergleichenden Beispielen erkennen.

Als die bisherige stärkste Fahr-Erprobung gilt die siebentägige österreichische Alpenfahrt über 2300 km und 16 größere Pässe, mit 17500 m Gesamtsteigung, eine Fahrt, deren strafpunktlose Zurücklegung als hervorragender Beweis von Zuverlässigkeit, als „Zerreißprobe" angesehen wird. Das ist unzutreffend; denn viele Strafpunkte haben mit dem Werte der Wagen nichts zu tun. Die Fahrtbedingungen, daß der Motor nicht abgestellt, die Motorhaube nicht geöffnet werden darf usw., sind sachlich belanglose Erschwerungen nur für den Fahrer. Auch die vieltägige Dauer ist belanglos und nur für die Fahrer schwierig, da viele Wagen ungestörte Dauerfahrt zulassen. Neun der Pässe wurden auf Kunststraßen überfahren, die keinem Kraftwagen Schwierigkeiten bereiten und sogar mit dem dritten Schaltgang gefahren werden können. Somit bleiben als schwierig nur sieben kleinere steilere Übergänge, die aber auch von fast allen Wagen überwunden wurden, obwohl diese ihrem wirklichen Wert nach sehr verschieden waren. Auf einer kürzlich völlig störungsfrei beendigten Balkanfahrt mußte

eine 50 % längere Strecke befahren werden als auf der Alpenfahrt, mit 30 % mehr Steigungen, und zudem wurde hierbei ein alter Wagen verwendet, der vorher schon über 30000 km gelaufen hatte. Aber auch so ungewöhnliche Daueranstrengung reicht nicht aus, die Zuverlässigkeit zu beurteilen.

Auf dem Prüfstande hingegen wird die Zuverlässigkeit in einem zehnstündigen Dauerlauf unter ständiger Höchstleistung festgestellt. Gute Wagen und Motoren bleiben hierbei unverändert und könnten solchen Dauerlauf nach Erneuerung des Öls sofort wieder fortsetzen; mangelhafte hingegen versagen: wegen Auslaufen von Lagern, Warmlaufen oder Beschädigung von Maschinenteilen, Glühendwerden der Kolben, Falschzündungen, Verkrusten der Kolbendichtungen usw. Ein solcher Dauerlauf stellt Ansprüche wie etwa eine ununterbrochene Wagenfahrt von 700 km unter Höchstleistung, die praktisch nicht möglich ist, weil es hierfür keine Straßenverhältnisse gibt. Oder wie eine ununterbrochene Steilfahrt von 200 km mit dem ersten Schaltgang bei Höchstgeschwindigkeit, weshalb auch diese Betriebsart von den meisten Wagen gefürchtet wird. Auf den vorhandenen Straßen ist die Beanspruchung stets wesentlich geringer, wie auch die praktisch erreichbare Durchschnittsgeschwindigkeit meist nur die Hälfte der erreichbaren Höchstgeschwindigkeit beträgt. Die Höchstleistung während der Alpenfahrt betrug wahrscheinlich viel weniger als den zehnten Teil der Dauerbeanspruchung auf Prüfständen, die daher auch über Zuverlässigkeit ganz andere, richtigere Wertung ergeben als irgendwelche Probe- oder Wettbewerbsfahrten. Mancher siegreiche Wagen einer großen „Zuverlässigkeitsfahrt" würde den Prüfstandsversuch gar nicht aushalten.

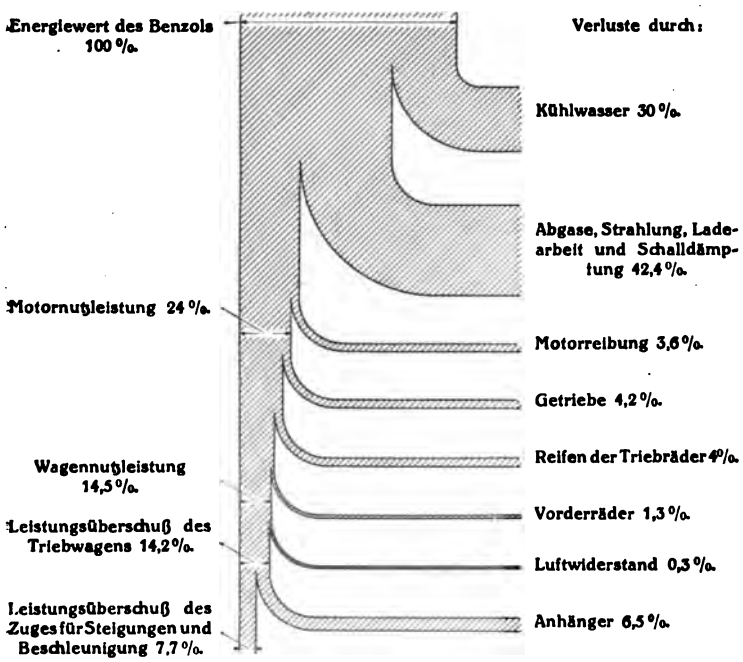


Abbildung 14. Energiediagramm des 35-P.S.-Büssing-Armeelastzuges für 16 km/st Fahrgeschwindigkeit.

Ein anderes Beispiel: Kraftwagen werden vielfach nach einer Probefahrt übernommen, die bis auf hundert Kilometer, in strengen Fällen bis auf einige hundert Kilometer ausgedehnt wird. Die Militärverwaltung hat den neuen Subventionslastwagen erst nach einer Fahrt von über 2000 km abgenommen, ein Vorgehen, das auf Privatbetriebe nicht anwendbar ist. Unmittelbar nach Vollendung solch ungewöhnlicher Probefahrt ist dieser Armeelastzug ohne jegliche Nacharbeit auf dem Laboratoriumsprüfstand untersucht worden und hat auf diesem Prüfstande gleichfalls 2000 km Fahrt gemacht, davon aber fast ein Drittel unter Höchstleistung mit dem ersten Schaltgange, der bei der langen Probefahrt nur auf einigen Gebirgsstrecken in Anspruch genommen werden konnte. Die Prüfstandserprobung ist daher selbst im Vergleich zu so ganz

ungewöhnlich scharfen und langen Fahrerprobungen immer eine wesentlich maßgebendere. Bei der Prüfstandsuntersuchung des Armeelastzugs konnten auch wissenschaftlich wichtige Verhältnisse festgestellt werden, die während der Fahrt nicht oder nur sehr unvollkommen ermittelt werden können. So wurde unter anderem festgestellt, daß es wirtschaftlich am vorteilhaftesten ist, möglichst viel Last dem Anhängewagen zuzuweisen; daß die Leistung des Triebwagens wesentlich vergrößert werden kann nur durch Änderung der Zapfenlager; daß der unvollkommene Anhängewagen eine Verschwendung von etwa 4000 kg Benzol jährlich mit sich bringt usw. Außerdem wurden wichtige Aufschlüsse erlangt über die Wirkung der Wagen- und Gestängefederung, über den Einfluß der Gummi- und Eisenbereifung und ihren Zusammenhang mit der Straßenzerstörung. Für solche wichtige Ermittlungen fehlt bei der Straßenfahrt sogar jede Beobachtungsmöglichkeit.

Die vollständige Wagenwertung muß außer den erwähnten Motor- und Wageneigenschaften und der Zuverlässigkeit noch die übrigen Eigenschaften des Wagens feststellen: die Handhabung insbesondere der Steuerung und der Bremsung, die Zugänglichkeit aller wesentlichen Teile, die Einfachheit, die Wirkung der Wagenfederung, die Schwingungen, das Verhalten in Kurvenfahrt und beim Schleudern usw. Das sind aber Eigenschaften, die durch verhältnismäßig kurze Probefahrten bestimmt werden können. Probefahrten werden selbstverständlich auch vor und nach allen Prüfstandsversuchen mit jedem Wagen vorgenommen, vorher, um individuelle Fehler des Wagens rechtzeitig zu erkennen, und nachher, um die Übereinstimmung der Meßwerte mit der praktischen Wagenfahrt festzustellen, eine Übereinstimmung, die übrigens immer vorhanden ist, aber sich nur auf die Fahrgeschwindigkeit und Leistungen auf Steigungen erstrecken kann.

Ein wesentliches Kennzeichen der jetzigen Entwicklung des Automobilbaus ist die Wirtschaftlichkeit im Betriebe, in dem Sinne, daß die Motorleistung möglichst ausgenutzt wird. Wagen mit überstarken Motoren werden kaum noch gesucht; fast durchweg werden jetzt Gebrauchswagen von hoher Dauerleistung verlangt. So hat sich die Sachlage geändert, und damit mußte sich auch das Prüfungsverfahren ändern; die einseitige Renn- und die unzureichende Fahrprüfung mußte durch die vollständige Prüfung und Messung auf dem Prüfstande ersetzt werden.

7. KRAFTWAGENBAU

Die wirtschaftliche Entwicklung des Kraftwagenbaues beginnt schon mit den ersten Sporterfolgen, denn die Sportsleute waren zugleich gute Käufer der Kraftwagen und haben von Anfang an allein einen großen Bedarf von Sport- und Luxuswagen geschaffen. Das Sportzeitalter des Kraftwagens war sogar für die Fabriken wirtschaftlich die beste Zeit. Damals wurden ungewöhnlich hohe Preise bezahlt und sogar für frühzeitige Lieferung Prämien gewährt, die ungefähr dem gegenwärtigen Preise eines Wagens entsprechen. Sachlich ist diese Entwicklung durch viele Liebhabereien in der Bauart und durch die Sucht nach Originalität gekennzeichnet. Den Sportbestrebungen ist in allen Hauptländern sofort eine vielfältige Anwendung von Kraftwagen gefolgt. Hierdurch wurde eine Flut von Haß bei der nicht kraftfahrenden Bevölkerung ausgelöst, wie nie zuvor durch eine technische Neuerung. Die Pioniere, die damals trotzdem durchgehalten haben, verdienen auch hierfür besondere Anerkennung.

In weiten Kreisen wird angenommen, die Entwicklung des Kraftwagens sei nur in Frankreich erfolgt. Das ist für die erste Entwicklungszeit nur sportlich und zum Teil industriell, aber nicht technisch zutreffend. Als Erfinder, als wirkliche Pioniere,

Abbildung 15. Benzwerke Mannheim: Motoren- und Wagenbau. Spezialfräsmaschinen für Motor- und Wagenteile.

sollten stets die angesehen werden, die zuerst die betriebsbrauchbare Einrichtung geschaffen haben, aber nicht die, welche zuerst von einer Neuerung gesprochen oder

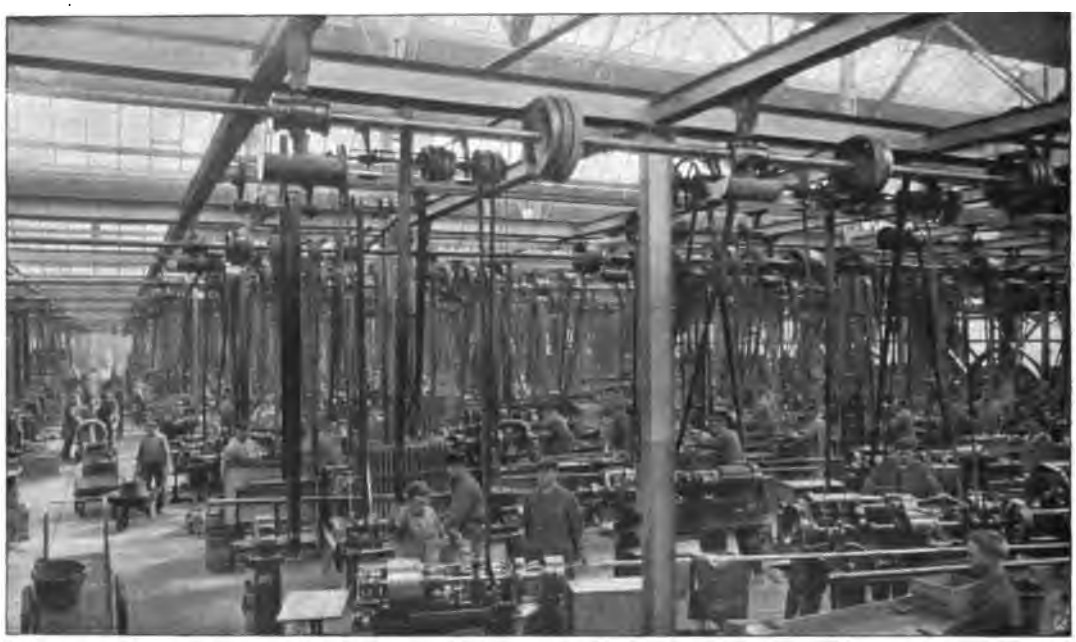


Abbildung 16. Benzwerke Mannheim: Triebwerkbau. Selbsttätige Spezialmaschinen (Automaten) für Motor- und Wagenteile.

tastend danach gesucht haben; Watt und Stephenson gelten mit Recht als Erfinder der Dampfmaschine und der Lokomotive, obwohl sich Vorgänger schon Jahrzehnte,

ja Jahrhunderte vorher finden. Wenn nur der erste unvollkommene Gedanke oder die erste rohe Gestaltung maßgebend wäre, dann wären manche Erfindungen Jahrhunderte

Abbildung 17. Benzwerke Mannheim: Motorenbau, Spezialmaschinen für Dreherei, Schleiferei usw.

zurückzudatieren. Ausgangspunkt der Kraftwagen ist die betriebsbrauchbare Verbrennungsmaschine. Diese ist nur deutschen Ursprungs, auch in der Ausbildung als raschlaufende Ölmaschine. Ihre Bahnbrecher sind Otto (Deutz), Körting, Diesel usw., die des Automobilmotors Benz, Daimler usw. Auch der Kraftwagen ist wesentlich

Abbildung 18. Benzwerke Mannheim: Motorenbau, Zusammenbau der Motorteile.

deutschen Ursprungs, denn Daimler hat alles Wesentliche geschaffen, und seine Patente umfassen viele wichtige Konstruktionen. Daimler hat aber in Verbindung mit Levassor die industrielle Verwertung in Frankreich begonnen. Hier liegt auch der Ausgangs-

punkt der französischen Automobilindustrie, die zuerst wirtschaftlich erfolgreich vorgehen konnte, weil dort viele Sportsleute kaufkräftige Interessenten waren. Dann wurde der sogenannte „Mercedeswagen", ein deutsches Erzeugnis, durch eine französische Verkaufsgesellschaft eingeführt, und lange Jahre ist der größte Teil dieser deutschen Wagen nach Frankreich und dem sonstigen Auslande verkauft worden. Durch diesen wirtschaftlichen Erfolg auf französischem Boden wurde erkannt, daß der Kraftwagenbau nicht Liebhaberei, sondern wirtschaftlich eine sehr lohnende Sache ist.

Anfänglich wurde nur Leistung verlangt, dann Betriebssicherheit und Vollkommenheit, die nicht mehr durch Teilerfahrung allein, sondern nur durch wissenschaftliche Durchdringung aller Einzelheiten erreichbar ist. Diese wissenschaftliche Mitarbeit wird vielfach verkannt, obwohl sie schon bei der Vervollkommnung der Motoren und der Verwendung der hochwertigen Materialien entscheidend eingesetzt hat. Durch diese Mitarbeit hat der Kraftwagen erst Lebensfähigkeit und Lebensdauer erlangt. Manche Fabrik hat zu ihrem Schaden den Anschluß an diese Mitarbeit versäumt. Die Rennerfolge und die erzielten sehr hohen Verkaufspreise haben viele Fabriken veranlaßt, den Automobilbau aufzunehmen; viele Neugründungen sind mit unzureichenden Mitteln erfolgt, und Rennfahrer waren hierbei oft maßgebende „Sachverständige". Der Hochkonjunktur ist bald ein starker Rückschlag gefolgt, dem viele Unberufene erlegen sind. Dann kam die Konstruktions- und Fabrikationsvervollkommnung und die Massenfabrikation. Der Kraftwagen ist nicht mehr auf Sport- und Luxusbedürfnisse allein

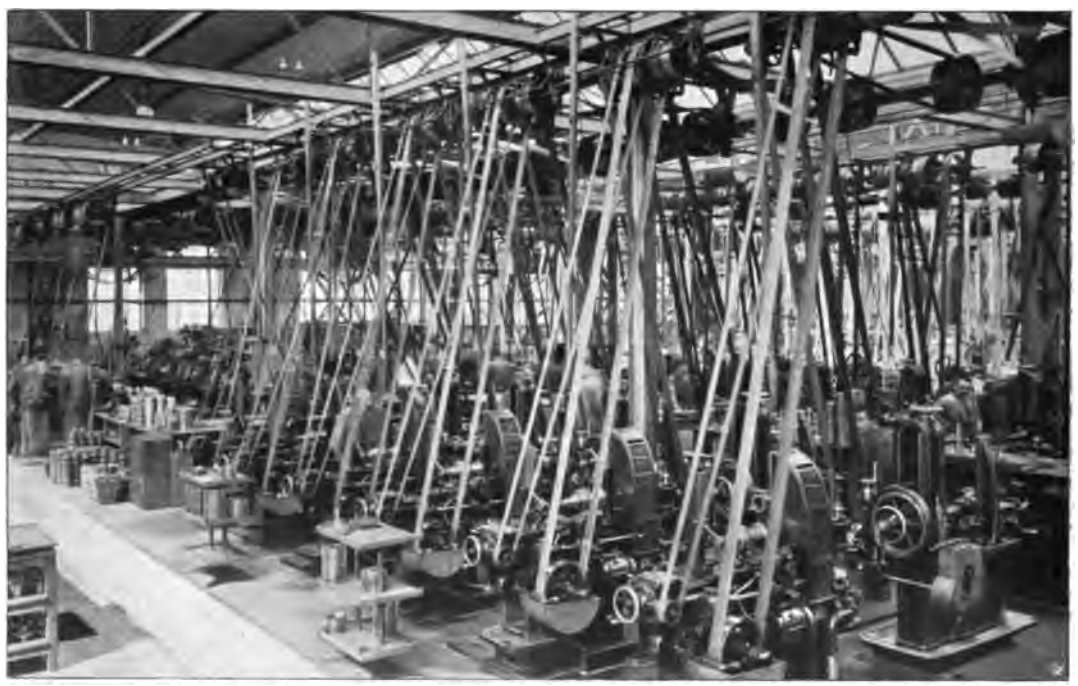


Abbildung 19. Benzwerke Mannheim: Triebwerkbau. Selbsttätige Spezialmaschinen für Zahnräder.

angewiesen, er ist Gebrauchswagen und wirtschaftliches Verkehrsmittel geworden, und die wirtschaftlichen Forderungen erlangen immer entscheidendere Wichtigkeit: Anschaffungs-, Instandhaltungs- und Betriebskosten, Lebensdauer, Einfachheit der Handhabung usw. Die Verwendung der Kraftwagen für verschiedene Betriebszwecke ist eine

immer vielseitigere geworden, und nur durch diese Vielseitigkeit hat eine große Fahrzeugindustrie entstehen können. Noch ist die Grenze der Verwendungsmöglichkeit nicht erreicht und die Ausdehnung der Kraftwagenbetriebe in riesiger Zunahme begriffen.

Abbildung 20. Benzwerke Mannheim: Motorbau. Zusammenbau der Motorteile.

In diese entscheidende wirtschaftliche Entwicklungszeit fällt auch die richtige Ausbildung der Kleinwagen. Diese sind während des Sportzeitalters der Kraftwagen sehr geringschätzig angesehen worden. Mit Recht, solange sie eigentlich nur verkrüppelte Wägelchen oder sinnwidrig verkleinerte Großwagen waren ohne Gebrauchs- und Lebensfähigkeit für Dauerbetrieb. Diese verfehlte Richtung lebt unter der Flagge der Billigkeit noch immer. Selbst die ganz billigen Zwei- und Dreiräder haben nur beschränkte Berechtigung für sehr niedrige Anforderungen; denn die äußerste Verringerung von Gewicht und Preis zwingt unvermeidlich zur Weglassung wichtiger Teile, zur Vereinfachung insbesondere auch der Motoren bis zur Unzuverlässigkeit und Unbrauchbarkeit für Dauerfahrt. Die zuverlässigen Kleinwagen hingegen, die alle wesentlichen Teile des Großwagens besitzen, nur auf das Notwendige beschränkt, haben größere Bedeutung erlangt als die Großwagen, für welche das Bedürfnis schließlich erschöpft wird, soweit es nur dem Luxus entspringt, während den Kleinwagen ein unabsehbares Verwendungsfeld offensteht. Wesentlich ist die Beschränkung der Leistung auf 5—10 Steuerpferde, somit 15—30 P.S. Motorleistung, und der Geschwindigkeit auf 50—70 km, infolgedessen Verminderung von Gewicht, Totlast, Anschaffungs- und Betriebskosten, insbesondere Reifenkosten, die mit dem Wagengewicht, der Leistung und Geschwindigkeit rasch steigen. Mit solchen Wagen kann fast allen berechtigten Bedürfnissen entsprochen werden, und selbst sechssitzige geschlossene Wagen erfordern nur geringe Erhöhung der Motorleistung. Durch solche Beschränkung geht für den Benutzer des Wagens nichts Wesentliches verloren, und es können die Kosten des Wagens auf etwa die Hälfte der Großwagen, die Betriebskosten auf weniger als ein Drittel vermindert werden. Hierin liegt die große Bedeutung der Kleinwagen. Dabei ist die durchschnittliche Fahrleistung auf mittleren Straßen nur wenig geringer als bei Großwagen (35 statt 45 km durchschnittlich), auf schlechten Straßen sogar größer, da die kleinere Wagenmasse roheren Einflüssen bequemer folgt. Der Bedarf an solchen Kleinwagen ist in mächtigem Ansteigen; ihm kommt die normale Erzeugung guter Wagen noch nicht nach, weshalb noch immer sehr unvollkommene Wagen ihre Abnehmer finden. Die Fabriken, die zuerst richtige, zuverlässige Kleinwagen herausgebracht haben, konnten reiche Entlohnung finden. Gegenwärtig sind mehr als zwei Drittel der Gesamterzeugung Kleinwagen, eine Entwicklung, die nur

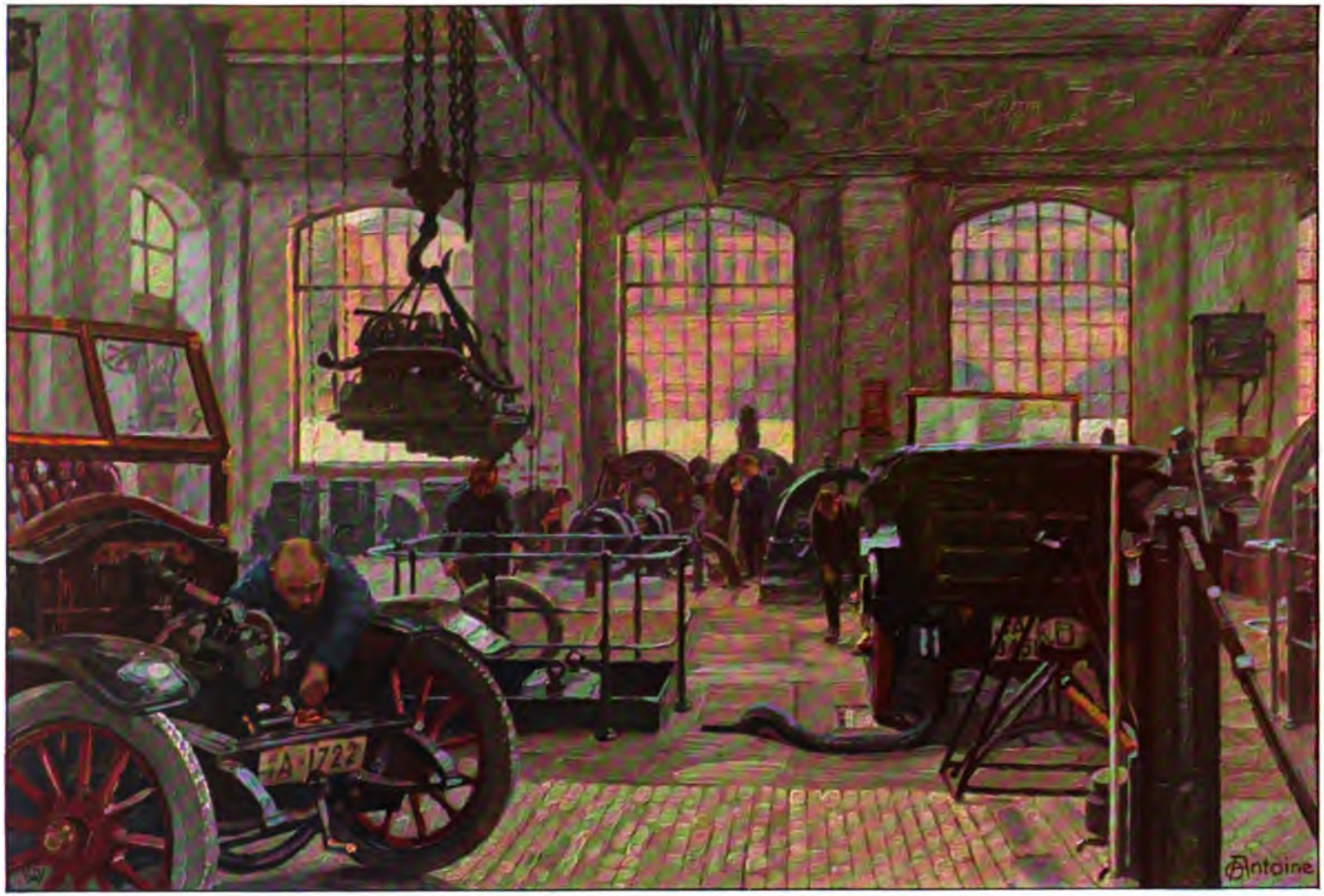
möglich ist im Zusammenhang mit einer vollkommnen, organisierten, modernen Fabrikation.

Der KRAFTWAGENBAU hat nach dem Vorbilde des modernen Maschinenbaues eine große technische und industrielle Aufgabe gelöst, und die Kraftwagenindustrie ist zu hoher Blüte gelangt. Die Kraftwagen können gegenwärtig allen Anforderungen des Dauerbetriebs entsprechen, auch unter den schwierigsten Verhältnissen, wesentlich durch die Steigerung der Leistung bei Verminderung des Gewichts. Gegenwärtig leisten gute 20—25pferdige Wagen dasselbe, wie noch vor sechs Jahren 30—35pferdige. Mit Wagengewichten von 1100—1200 kg werden dieselben und größere Leistungen erzielt, wie vor wenigen Jahren mit 1500 und 1600 kg. Dabei ist der Preis der Wagen auf etwa die Hälfte des früheren herabgesunken, bei weitgehender Erhöhung der Qualität in allen Teilen. Die Beantwortung der Frage: durch welche Mittel ist dieser gewaltige Fortschritt möglich geworden? hat allgemeine Bedeutung auch für Nichtsachkundige, daher wenigstens ein gedrängter Überblick über den modernen Kraftwagenbau zu geben ist. —

Die Vorbedingungen dieses großen Fortschritts sind: Beschränkung der Wagentypen und Einheitlichkeit der Konstruktionen, Absteckung des Arbeitsfeldes nach Größe und Zweck der Wagen, planmäßige Vervollkommnung aller Einzelteile auf wissenschaftlicher Grundlage und darauf gestützt Vervollkommnung der Herstellung und Verbilligung durch Massenfabrikation mit richtiger Arbeitsorganisation. Alles das schafft eine Reihe vielfältiger schwieriger Einzelarbeiten. Einheitliche Bauart zunächst ist erst möglich, wenn die sprunghafte Entwicklung, die Liebhabereien aufgehört haben und die Konstruktion durch sichere Erfahrung abgeklärt ist. Jetzt erst kann an die Aus-

Abbildung 21. Benzwerke Mannheim: Wagenbau. Spezialmaschinen für Räderbau und Karosseriebau.

bildung von Normaltypen geschritten und die richtige Form für die Beanspruchungen und die Massenverteilung, sowie die beste Herstellung für den jeweiligen Zweck gesucht werden. Hier liegt ein unabsehbares, immer weiter entwicklungsfähiges Gebiet. Die erreichte Einheitlichkeit der Bauart von Motoren und Triebwerken ist eine Vorfrucht



Automobilprüfstand im Kraftwagenlaboratorium der Kgl. Technischen Hochschule Berlin.

Zu Riedler: Kraftwagen.

dieser Bemühungen. Auf Grund dieser mühevollen Vorarbeit kann erst zur Normalisierung der Maschinen- und Wagenteile geschritten werden. Ein schwer sich rächender Fehler ist es, an überlebten, wenn auch noch so „bewährten" Konstruktionen

Abbildung 22. Benzwerke Mannheim: Wagenbau. Zusammenbau der Wagen und Karosserien.

festzuhalten, und ein noch schwererer Fehler ist es, Unreifes normalisieren zu wollen. In diesen folgenschweren Entscheidungen liegen die Gefahren. Die Hindernisse der Normalisierung liegen bei uns in Liebhabereien, in Modeansichten von Käufern und Verkäufern, die die Fabriken beeinflussen, statt umgekehrt.

Nach richtiger Normalisierung kann zur planmäßigen Herstellung der Teile geschritten werden mit dem Ziele: Zeit und Kosten zu sparen, Genauigkeit und Qualität zu erhöhen. Das ist nur möglich durch richtig organisierte Massenfabrikation. Dabei handelt es sich stets um einen Zusammenhang verschiedener Arbeitsvorgänge und Absichten, die sich nicht trennen lassen. Es handelt sich gleichzeitig bei allen Arbeitsvorgängen um Zeit- und Kostenersparnis, Genauigkeit und Raschheit der Herstellung. Zeitersparnis wird u. a. erreicht durch richtige Arbeitsorganisation, insbesondere richtige Arbeitsteilung und vervollkommnete Hilfsmittel, Werkzeugmaschinen und besondere Vorrichtungen zum Festhalten, Aufspannen der Maschinenteile, wobei die unveränderte Wiederbenutzung dieser Vorrichtungen für eine große Zahl von hintereinander herzustellenden Arbeitsstücken wesentlich ist. Ausgangspunkt ist das Rohmateriallager, in welchem schon jedes Stück für die Fabrikation richtig vorbereitet sein muß. Die Zeitersparnis in der Herstellung selbst wird insbesondere durch selbsttätige Werkzeugmaschinen, sogenannte Automaten, und durch richtige Arbeitsorganisation erreicht. Der Zeitgewinn wird nicht nur durch die außerordentlich leistungsfähigen selbsttätigen Werkzeugmaschinen, sondern außerdem durch besondere Werkzeuge erzielt, z. B. durch die Verwendung von Schnelldrehstählen und besonders geformten Schnittwerkzeugen. Die Arbeitsgeschwindigkeit wird durch sehr kräftige Maschinen mit großem Energiebedarf erhöht und selbst mit heißgewordenen Werkzeugen ununterbrochen fortgearbeitet, was die früheren Werkzeuge nicht zuließen. In ähnlicher Weise werden besondere Formwerkzeuge, Fräser und Fräsbohrer, verwendet, die besondere Profile mit gleicher Raschheit wie Normalflächen bearbeiten. Dabei wird angestrebt: Kosten-

ersparnis an Material und Löhnen. Materialersparnis wird erreicht durch richtige Vorbereitung der Bearbeitung der Maschinenteile, Lohnersparnis durch Ersatz der Handarbeit durch selbsttätig arbeitende Maschinen. Vielfach wird geglaubt, daß diese selbsttätigen Maschinen auch die Geschicklichkeit des Arbeiters, seine Intelligenz und Persönlichkeit ausschalten, daß die vollkommene Maschine den Arbeiter herabdrückt und alle Arbeit von der Persönlichkeit unabhängig macht, somit gestattet, ungelernte Hilfskräfte zu verwenden. Das ist nur teilweise richtig. Manche Fabrik hat sich den Fortschritt in der Weise dienstbar machen wollen, daß sie die besten selbsttätigen Werkzeugmaschinen gekauft und in Betrieb genommen hat, aber der Erfolg ist ausgeblieben. Die geistige Arbeit, Intelligenz und richtige Organisation bei der Handhabung der Maschinen bleibt immer die Hauptsache. Der Ingenieur ist der Organisator der Fabrikation und des Maschinenbetriebs; der sachkundige, erfahrene Arbeiter rückt vom gewöhnlichen Dreher zum Werkzeugmeister auf, und der ungelernte Arbeiter

Abbildung 23. Adlerwerke Frankfurt a. M.: Wagenbau. Zusammenbau der Wagengestelle.

wird zum Aufseher der Maschinen und kann viele Maschinen gleichzeitig beaufsichtigen. Die Maschine, einmal richtig eingestellt, ist der Handlanger.

Weiteres Ziel ist die Genauigkeit. Deshalb werden die vollkommensten Werkzeuge, Maschinen und Arbeitsprozesse verwendet. Dabei werden Werkzeuge benutzt, die auch bei der Abnutzung genau bleiben. Alle diese Hilfsmittel sind teuer, daher nur in der Massenfabrikation möglich. Bei den Hauptteilen der Motoren und Triebwerke wird eine Genauigkeit von 1/100 Millimeter und weit darüber verlangt und erreicht, während Werkstätten ohne vollkommene Hilfsmittel kaum den zehnten Teil dieser Genauigkeit kennen, gewöhnlichen Arbeitern selbst ein Millimeter als Genauigkeitsgrenze unbekannt ist. Damit steht im Zusammenhang ein organisiertes Meß- und Kontrollverfahren innerhalb jedes Teiles der organisierten Fabrikation. Die Messung erfolgt bei jedem angefertigten Stück durch sogenannte Toleranzlehren, das sind zwei zusammengehörige Maßkaliber vom gewollten Genauigkeitsunterschied; das kleinere muß z. B. durch die hergestellte Bohrung zwangsfrei hindurchgehen, das andere, um die Toleranz größere hingegen nicht. Hierher gehört die organisierte Nachprüfung jedes Teiles der Massenfabrikation durch besonderes Personal, ganz unabhängig von den einzelnen Abteilungen der Fabrik. Alle Teile, die an dieser Prüfstelle Anstände ergeben, werden ausgeschieden. Damit hängt weiter zusammen

die wichtige Forderung der Austauschbarkeit aller gleichen Teile, da jedes genau hergestellte Stück zu jedem anderen passen muß. Ein besonderes Zusammenpassen und Nacharbeiten findet fast nie statt. Das ist der Lohn für die mühsame Kontrolle und Genauigkeit, während bei mangelnder Genauigkeit erst alle zusammengehörigen Teile mühsam aufeinandergepaßt werden müssen, was nie genau wird, sehr große Kosten verursacht und richtig passenden Ersatz unmöglich macht. Endlich hängt hiermit noch zusammen die Möglichkeit, Vorrat von genau passenden Ersatzteilen zu halten. Schon deshalb sollte heutzutage kein Wagen gekauft werden, dessen Teile nicht mit der erwähnten Genauigkeit und austauschbar hergestellt sind, denn alle Ungenauigkeit rächt sich im Betriebe schwer. In diesem Zusammenhang ist noch zu erwähnen die mit dem Rohmateriallager zusammenhängende beständige Materialprüfung, die unabhängig von den liefernden Hüttenwerken mit Hilfe besonderer Festigkeits- und sonstiger Qualitätsprüfmaschinen erfolgt. Das ständige Ziel ist Kostenverminderung. Sie wird weitgehend erreicht durch die erwähnte Ersparnis an Zeit und an Löhnen, durch die Arbeitsausnutzung an richtiger Stelle, durch die Schnelligkeit der Fabrikation und die volle Ausnutzung der teuren Hilfsmaschinen, außerdem durch Vermeidung aller entbehrlichen Zwischenbehandlungen und Transporte durch richtige Arbeitsteilung. Hierher gehört zunächst das richtig vorgeformte Material. Früher wurden schwierige Teile gegossen oder aus einem roh vorgeschmiedeten Stück herausgearbeitet. In der gegenwärtigen Fabrikation ist aller Guß für Triebwerksteile fast ausgeschlossen, da Gußstücke weder die gewollte Gewichtsersparnis noch Betriebssicherheit gewähren. Gegenwärtig werden geschmiedete Maschinen- und Wagenteile vor der Bearbeitung auf möglichst genaue Form gebracht, um möglichst wenig Abfall von teurem Material zu haben und an Bearbeitung zu sparen. Es werden daher besonders genaue Formpreßstücke hergestellt. Dazu dienen die Gesenkschmieden und Pressen mit besonderen Gesenken für jeden Maschinenteil und eine Reihe von Hilfsmaschinen: Dampfhämmer, Fallhämmer, Stauchmaschinen, insbesondere Schmiedepressen, hydraulische Schnellpressen usw. Der Materialbedarf bei diesem Verfahren beträgt für viele Maschinenteile nur geringe Bruchteile des Bedarfs beim alten Verfahren. Auch hier steht wieder mit der Kostenverminderung im engsten Zusammen-

Abbild. 24. Adlerwerke Frankfurt a. M.: Härteprüfmaschine.

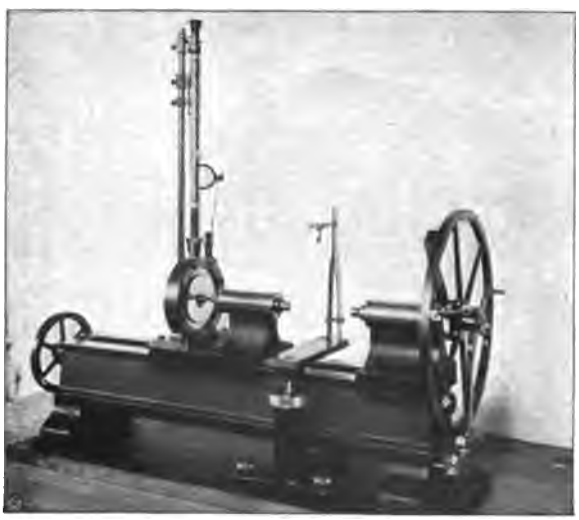


Abbildung 25. Adlerwerke Frankfurt a. M.: Kontrollmeßmaschine. Genauigkeit 1/1000 mm.

hang die Qualitätserhöhung durch das Pressen der Materialien, die Zeitersparnis, Schnelligkeit der Arbeitsprozesse usw.

Das Wesentlichste sind richtige Organisation und Arbeitsmethoden, Werkzeuge und Hilfsvorrichtungen für den besonderen Zweck, vollständige Teilung der Arbeit für alle Hauptteile des Wagens, ganz getrennte Werkstätten für Rahmenbau, Federn, Hinterachsen, Vorderachsen, Getriebe, Kühler, Motoren, Karosserien usw., und für jede Abteilung getrennte Gruppen von Arbeitern, die als Spezialisten ausgebildet sind. Die Einzelheiten hierzu sind zu umständlich, um hier erwähnt zu werden. Es können nur einige Beispiele angeführt werden.

Zahnräder werden aus entsprechend vorbereiteten Stahlscheiben aus Chromnickelstahl von höchsten Festigkeitseigenschaften hergestellt. Die Zähne von Kegelrädern werden auf selbsttätigen Hobelmaschinen, die der Stirnräder auf selbsttätigen Fräsmaschinen eingeschnitten, mit einer Genauigkeit bis 1/100 mm. Dann werden die Zähne gehärtet, so daß der Kern weich und zähe bleibt und nur die Außenhaut glas-

Abbildung 26. Adlerwerke Frankfurt a. M.: Selbsttätige Drehbank (Automat).

hart wird. Die Zähne können sich daher bei Überanspruchung verbiegen, ohne zu brechen. Durch dieses Härten geht die Genauigkeit etwas verloren; deshalb werden die gehärteten Zähne auf besonderen, sich selbsttätig richtigstellenden Schleifmaschinen genau geschliffen. Dieses Schleifverfahren ist gegenwärtig in einigen Fabriken hoch ausgebildet und liefert vollständig geräuschlos arbeitende Zahnräder bei geringster Abnutzung, ein Erfolg der Genauigkeit. Daher auch der Unterschied im Lauf vieler Wagen von völliger Geräuschlosigkeit bis zu unerträglich rasselndem Gange. Diese Quelle geräuschlosen Ganges des Wagens und Motors ist viel wichtiger als Sonderkonstruktionen, wie hydraulische Getriebe, Schiebersteuerungen usw., die mit der Geräuschlosigkeit nur wenig zu tun haben.

Mit der Genauigkeit bis 1/200 mm werden insbesondere die Motorzylinder und Kolben hergestellt. Die in den einzelnen Abteilungen hergestellten Maschinen- und Wagenteile werden vor der Ablieferung für den Zusammenbau unter Belastung erprobt, insbesondere die Federn, die Hinterachsen, Getriebe und Motoren. Jeder Motor wird unter Vollbelastung erprobt. Obwohl er nur aus gleichmäßig hergestellten Teilen besteht, verhält sich doch jeder im Zusammenbau als Individuum. Einzelne Fabriken lassen jeden Motor sogar tagelang unter Belastung laufen, dann auseinandernehmen, alle Teile nachsehen und darauf erst für den Einbau im Wagen zusammenstellen.

Jede Motorerprobung kostet viele hundert Mark, die gespart werden können, wenn an Sorgfalt gespart wird. Auch hierin sind große Qualitäts- und unvermeidlich auch Preisunterschiede bester und minder guter Wagen begründet. Zum Schluß kommt noch das Einfahren des zusammengebauten Wagens auf der Landstraße vor der Ablieferung des Wagens. Der Zusammenbau liefert wieder, trotz der Gleichheit der Teile, insbesondere wegen der Wagenfedern Individuen von Wagen mit kleinen Verschiedenheiten, die beim Einfahren festgestellt werden müssen, weshalb gründliches Einfahren unerläßlich ist. Kennzeichnend hinsichtlich der Qualität der Herstellung ist auch der Karosseriebau sowie die Auswahl des zu verwendenden Holzes und seine Bearbeitung, die Sorgfalt in der Ausführung bis zur Lackierung, deren Haltbarkeit und Wetterbeständigkeit davon abhängt, daß nur sehr dünne, daher zahlreiche, etwa zwanzig Schichten von Spachtel und Lack aufgetragen und immer wieder geschliffen werden, die vorher kalt erhärten müssen. — Der moderne Kraftwagenbau ist eine in allen Teilen hochentwickelte Spezialfabrikation geworden. Unvollkommene Empirie und einseitige Erfahrung reichen nicht mehr aus. Notwendig ist das Zusammenwirken von Wissenschaft und Erfahrung zu wirtschaftlichem Zweck, ebenso wie im übrigen hochentwickelten Maschinenbau. Jedoch kann man die Fabrikationseinrichtungen verschieden benutzen: zu der erwähnten Vervollkommnung und gleichzeitigen Kostenverminderung oder zur billigen Massenherstellung allein, wie dies bei vielen Wagen geschieht, die den Markt füllen. —

Abbildung 27. Büssingwerke Braunschweig: Dreispindliges Fräswerk.

Abbildung 28. Büssingwerke Braunschweig: Dreispindliges Bohrwerk.

Der AUTOMOBILISMUS hat jetzt schon eine viel größere Bedeutung erlangt, als vielfach angenommen wird, und seine große Entwicklung hat erst begonnen. Dies zeigt schon der gegenwärtige Stand der Fahrzeugindustrie. Der Wert der deutschen Fabrikation einschließlich der Rohstoffe und die Stückzahl der Erzeugung hat sich im letzten Jahrzehnt mehr als verzwanzigfacht. Der Verkaufswert beträgt jetzt über 150 Millionen jährlich. Die deutsche Fahrzeugindustrie allein beschäftigt etwa 25000 Angestellte und Arbeiter. Die rasch ansteigende deutsche Ausfuhr hat die französische fast erreicht, die nur noch wenig wächst. Vom Automobilismus leben in Deutschland allein etwa 300000 Personen. Die deutsche Erzeugung allein beträgt jetzt fast

25000 Kraftfahrzeuge jährlich, und der Wert eines Kraftwagens ist durchschnittlich mit etwa 6000 M. anzunehmen. Das mit dem Automobilismus zusammenhängende Kapital ist auf mehrere Milliarden zu schätzen. Dabei sind in Betracht zu ziehen: die vielen Hilfsindustrien, die der Automobilismus geschaffen oder neu belebt hat, die ausgedehnten Industrien für Rohstoffe, insbesondere flüssige Brennstoffe, die ihre hohe Entwicklung hauptsächlich dem Automobilismus verdanken, die Industrie für Ausrüstungsteile, die z. B. von Deutschland aus Kugellager und Zündapparate für die ganze Welt liefert, die Industrie für Signalapparate, Laternen, Karosserien usw. Dazu kommt die Rückwirkung des Automobilismus auf andere Industrien, insbesondere die Metallurgie und die Gummiindustrie, die vor neue Aufgaben gestellt wurde und sie glänzend gelöst hat. Die deutsche Metallindustrie ist wesentlich durch den Kraftwagenbau Lieferantin edler Stahlsorten und Metallegierungen für die ganze Welt geworden. Aluminium konnte früher keinen Preis erzielen; jetzt werden hochwertige Aluminiumlegierungen in großen Mengen verwendet. Der Automobilbau hat auch auf den hochentwickelten Maschinenbau befruchtend gewirkt, schon durch die Einführung dieser Metallegierungen, der hochwertigen Stahlsorten, vorher wenig benutzter Materialien, die geringes Gewicht und große Betriebssicherheit ermöglichen.

Die Nachteile, die der Automobilismus gebracht hat, sind gering im Vergleich zu den erzielten Fortschritten. Wesentlich ist nur die Staubplage. Jede Neuerung bringt unangenehme Nebenwirkungen, bevor Erfolg und Genuß geerntet wird, und zwingt anfänglich zu Opfern. Diese waren beim Auftreten der Dampfschiffe und Eisenbahnen viel größer: die Störung der Flußbilder, der Fischzucht, das tosende Geräusch der Eisenbahnzüge selbst innerhalb der Städte, der lärmende Verschiebedienst, der Qualm, Rauch und Staub des Betriebes, die Stadtbahnhöfe mit ihren Schienennetzen, entwicklungshemmenden Dämmen, schlimmer als Festungswälle usw. Und alles das ist nicht zu ändern und wird gar nicht zu ändern versucht. Daneben sind die Unbequemlichkeiten, die der Kraftwagen gebracht hat, außerordentlich gering. Dabei ist er gar nicht allein der Stauberzeuger; Pferdehufe und Eisenradreifen sind die wirksamsten Mitarbeiter, der Kraftwagen ist allerdings kräftiger Staubaufwirbler. Es ist Aufgabe der Technik, den neuen Betrieb mit geringsten Belästigungen zu ermöglichen und den Straßenbau so zu entwickeln, daß die Staubplage praktisch aufhört.

Der Automobilismus hat, vom Standpunkte der Zivilisation betrachtet, viel Gutes gebracht und hat noch viele Aufgaben zu lösen. Das Bedürfnis nach raschem Verkehr nimmt immer mehr zu, insbesondere auch beim öffentlichen Fuhrwerk. Die vielen Feinde des Kraftwagens sprechen dann nicht mehr von seinen Gefahren und Belästigungen, wenn sie den Kraftomnibus reichlich benutzen. Die Vorzüge des Kraftwagens gegenüber anderen Transportmitteln werden immer mehr gewürdigt, und seine Entwicklung, deren Anfang wir erleben, ist unaufhaltsam. Der Kraftwagen kann dieselbe zivilisatorische Bedeutung beanspruchen wie die Eisenbahn und andere große Verkehrsmittel. Dazu kommen noch die Abkömmlinge des Automobilismus: die Motorboote für Sport- und Verkehrszwecke, für Binnen- und Hafenschiffahrt, Hilfsboote, Fischereiboote, Trajektschiffe usw. und das ganze Flugwesen, das nur auf dem Boden des Automobilmotors möglich geworden ist. Der wirtschaftlichen Entwicklung, die im Automobilismus ihren Ausgangspunkt gefunden hat, steht außerdem die immer zunehmende Wichtigkeit dieser neuen Verkehrsmittel für die Kriegsvorbereitung und Kriegsführung zur Seite, gewaltige Gebiete, wie sie nie zuvor durch eine Neuerung so rasch und mit gleichem Erfolg erschlossen worden sind.

LUFTFAHRT

VON AUGUST VON PARSEVAL

1. ÜBER DEN LUFTWIDERSTAND

Die Kenntnis der Gesetze des Luftwiderstandes ist eine wesentliche Vorbedingung der Luftfahrt. Bis an das Ende des 19. Jahrhunderts jedoch war unser Wissen hierin unzulänglich. Erst in den letzten Jahren ist dank der Arbeit in den aeronautischen Laboratorien eine Wendung zum Besseren eingetreten.

Der Luftwiderstand ist abhängig von dem Bewegungsunterschied zwischen der Luft und dem bewegten Körper, und zwar ist es gleichgültig, ob die Luft bewegt, der Körper ruhend oder umgekehrt die Luft ruhend, der Körper bewegt gedacht wird, oder ob beide für sich eine besondere Geschwindigkeit haben. Entscheidend ist stets die relative Geschwindigkeit der beiden Massen gegeneinander. Diesem Satz ist noch in letzter Zeit heftig widersprochen worden, doch ist er a priori ohne Versuch klar. Vorausgesetzt ist jedoch, daß die Luftmasse unbegrenzt oder wenigstens so weit ausgedehnt ist, daß von der Grenzfläche her keine merklichen Einflüsse auf den bewegten Körper stattfinden. Eine absolute Geschwindigkeit kennen wir Menschen nicht, da wir keinen festen Punkt im Raume haben, nach dem Ort und Richtung gemessen werden können. Auch die Erdoberfläche, auf die wir gewöhnlich unsere Messungen beziehen, ist kein ruhender Körper. Deswegen kann nur die relative Geschwindigkeit zweier Körper gegeneinander für ihre gegenseitigen Widerstände maßgebend sein.

Die älteste Theorie des Luftwiderstandes rührt von Newton her, und es hat sich dessen Aufstellung für die in der Luftfahrt angewendeten Geschwindigkeiten bewahrheitet, daß der Widerstand eines Körpers in der Luft dem Quadrat der Geschwindigkeit und dem Inhalt der Flächen proportional ist. Die weitere Behauptung, daß der Widerstand einer schrägstehenden Fläche dem Quadrat des Sinus des Luftstoßwinkels proportional sei, hat sich, trotzdem schon ein Blick auf die fliegenden Tiere ihre Unrichtigkeit handgreiflich zutage treten läßt, bis in die letzten Jahre des vorigen Jahrhunderts erhalten. Ein einfaches Gesetz für den schrägen Luftstoß scheint es nicht zu geben; man ist auf Versuche angewiesen.

VERSUCHSMETHODEN. Alle Luftwiderstandsversuche sollten stets möglichst in geschlossenen Räumen bei vollkommener Windstille vor sich gehen. Im Freien herrschen stets Luftströmungen, welche eine genaue Messung unmöglich machen.

Die von den verschiedenen Experimentatoren bisher angewendeten Methoden sind folgende:

1. Bewegung in ruhender Luft, wobei die Körper in einer kreisförmigen Bahn geführt sind (Rundlaufapparate) oder
2. Bewegung in gerader Linie. Schleppversuche, d. i. Bewegung in horizontaler Linie, und Fallversuche in vertikaler oder schräger Bahn.

Die Rundlaufapparate haben den prinzipiellen Nachteil, daß sie an die Stelle der geradlinigen Bewegung eine kreisförmige setzen, und daß der Versuchskörper stets aufs neue in die nämlichen aufgewirbelten Luftmassen eintaucht; auch sind sie nur

für kleinere Versuchskörper brauchbar. Dagegen sind sie bequem handlich und gewähren genügende Zeit und Ruhe für den Beobachter.

Die Messung geschieht entweder dadurch, daß die erforderliche Antriebskraft (meist Gewichte) und das scheinbare Gewicht des Apparats durch eine Wage festgestellt werden (Abbildung 1). Durch einen Kontrollversuch werden die Eigenwiderstände des Apparats ermittelt und von dem Bruttowiderstand abgezogen. Eine große Genauigkeit besitzt diese Methode nicht. Besser ist es, die Meßapparate zwischen den Versuchskörper und den Rundlaufapparat einzuschalten (Langley und andere). Man ist hierbei auf Registrierinstrumente angewiesen. Deren Ergebnisse sind bei guter Konstruktion genauer als persönliche Beobachtungen und frei von subjektiven Momenten. Auch ermöglichen sie Messungen innerhalb kürzester Zeitmomente.

Bei allen Versuchen auf geradliniger Bahn in geschlossenen Räumen, namentlich wenn größere Geschwindigkeiten angewendet werden sollen, ist die Notwendigkeit, auf kurzem Raume den Körper in Bewegung zu setzen, die Messungen auszuführen und danach die Bewegung wieder abzubremsen, eine große Erschwerung der Aufgabe.

Längere geradlinige Versuchsbahnen im Freien sind mehrfach in den Prüfungsanstalten für Luftschrauben zur Anwendung gelangt. Hier sind die Erschütterungen durch den Motor und die natürliche Unruhe der Atmosphäre erhebliche Erschwernisse.

Versuche auf einer kürzeren geradlinigen Bahn zur Prüfung von Widerständen müssen in geschlossenem Raume stattfinden und erfordern daher große kostspielige Hallen.

Im Gegensatz zu den Versuchen mit bewegten Flächen wird bei den sogenannten Tunnelversuchen ein durch ein Gebläse erzeugter Luftstrom an dem stillstehenden Versuchskörper vorbeigeführt. Hierbei kann man die auf den Körper wirkenden Kräfte weit bequemer messen; doch ist das Verfahren nur für kleine Versuchskörper geeignet, weil man zur Herstellung eines Luftstroms von großem Querschnitt erhebliche Kräfte braucht. Inwieweit die Nähe der Tunnelwände eine Fehlerquelle bildet, steht dahin, da das Material bisher zu gering ist, um einen Vergleich beider Methoden zuzulassen. Sicherlich ist der Fehler jedoch nur klein, und die Methode hat einen sehr hohen Wert für vergleichende Versuche zwischen verschiedenen Körpern. An mehreren Stellen sind mit dieser Methode gleichzeitig wichtige und überraschende Aufschlüsse in schöner Übereinstimmung erlangt worden.

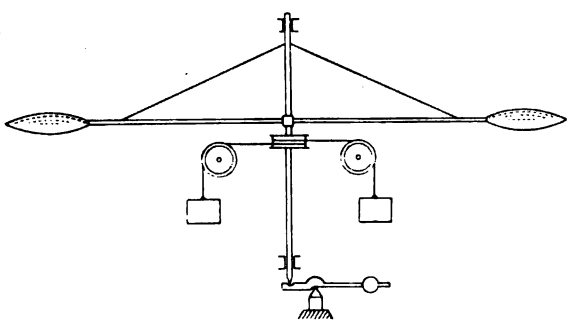


Abbildung 1. Rundlauf mit Gewichtsantrieb.

Die älteren Forscher arbeiteten fast ausschließlich mit dem Rundlaufapparat und begannen damit, den senkrechten Luftstoß auf Körper verschiedener Form, vorwiegend auf ebene Platten, zu untersuchen. Ihre Ergebnisse stimmen aber so wenig untereinander überein, daß bis in die jüngste Zeit nicht einmal dieser einfache Fall genügend geklärt war. Noch unsicherer waren die Ergebnisse für schräggestellte Platten, und man kann daher sagen, daß der Rundlaufapparat ein großen Fehlern unterworfenes Werkzeug ist.

Herr G. Eiffel hat in Paris am Eiffelturm eine größere Anzahl von Fallversuchen, bei welchen die Kräfte registriert wurden, zur Bestimmung des Koeffizienten des

senkrechten Luftstoßes ausgeführt (siehe „La Technique Aéronautique" 1910, Nr. 8: „Recherches expérimentales sur la résistance de l'air exécutées à la Tour Eiffel". Librairie Aéronautique, Paris). Er sagt hierüber: Wir haben für den Luftwiderstandskoeffizienten keine so hohen Werte (bis 1) gefunden wie andere Forscher, und wie sie noch jetzt von zahlreichen Ingenieuren angenommen werden. Es scheint uns festgestellt durch Versuche, die unter sehr verschiedenen Umständen gute Übereinstimmungen ergaben, daß der Koeffizient zwischen 0·555 und 0·675 liegt. Der größere Wert ist ein Maximum, das nur mit Platten von ziemlich großen Abmessungen erreicht wird.

Die Koeffizienten sind auf nachstehende Formel umgerechnet:

$$w = \frac{\gamma}{g} . v^2 . f . K,$$

worin bedeuten: γ das spezifische Gewicht der Luft, g die Beschleunigung der Schwere, f die Fläche, K den Luftwiderstandskoeffizienten. In dieser Form ist K von den angewendeten Maßstäben unabhängig. Es ist eine Verhältniszahl, die angibt, um wieviel kleiner der Flächendruck ist als der doppelte Reaktionsdruck eines Luftstrahls von gleicher Geschwindigkeit und vom Querschnitt der Fläche. Nachstehende Tabelle gibt die Eiffelschen Werte von K.

Versuche Eiffels.

	Größe der Platte:				
	1/10 qm	1/8 qm	1/4 qm	1/2 qm	1 qm
Kreis	0,555	0,576	0,600	0,675	0,64
Quadrat	0,567	0,583	0,609	0,675	0,64
Rechteck Seitenverhältnis 1 : 2	0,567	0,592	0,609	0,675	0,64
Längliches Rechteck Seitenverhältnis 1 : 4	0,592	0,600	0,609	0,675	0,64

Die Widerstände auf Platten zwischen 0—90° sind erst in neuerer Zeit in befriedigender Weise untersucht worden, und zwar von Eiffel (siehe „La résistance de l'air et l'aviation" par G. Eiffel, Paris bei H. Dunot & E. Pinot), von Prandtl (siehe „Mitteilungen aus der Göttinger Modellversuchsanstalt" in der „Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt", Jahrgang 1910, Nr. 7. 8. 11. 13. 15. 20 u. a. München und Berlin, Oldenbourg), von Rateau (siehe „La Technique Aéronautique" 1909, Nr. 15). Diese Versuche sind im Windtunnel am feststehenden Körper ausgeführt.

Bei einem in bezug auf die vertikale Ebene seiner Bewegung symmetrischen Körper, wie solche in der Flugtechnik vorkommen, haben die Widerstände eine in der Mittelebene liegende Resultante. Von dieser Kraft müssen drei Elemente durch den Versuch ermittelt werden:

1. die Richtung der Kraft;
2. die Größe derselben;
3. ein Punkt der Kraftlinie in seiner Lage zum Apparat, z. B. der Schnittpunkt der Kraftlinie mit der Fläche, der sogenannte Angriffspunkt der Kraft.

Hierzu sind drei Messungen erforderlich, und zwar an den in Betrieb befindlichen Apparaten die Ablesung dreier Wagen.

Auf der Göttinger Versuchsstation wird die auf die Fläche wirkende vertikale Kraft durch die Spannung zweier senkrechter Fäden gemessen, welche auf die Wage I und II (Abbildung 2) wirken. Die Fläche ist mit einem auf der Hinterseite befestigten dünnen Stiel versehen, um der Aufhängung eine größere Breite zu geben. Die aus beiden Kräften gefundene Mittelkraft ergibt die Größe und die Angriffsrichtung der vertikalen Kraft Py. Die horizontale Komponente Px wird durch die Spannung eines wagerechten Fadens gemessen, welcher auf eine Wage III wirkt. In der praktischen Ausführung steht dieselbe nicht vor der Fläche im Luftstrom, sondern seitwärts, indem die Fläche durch zwei schräg nach vorn auseinanderlaufende Fäden gehalten wird. Der Schnittpunkt der horizontalen und vertikalen Komponente ist ein Punkt der Kraftlinie; die Vereinigung beider Komponenten ergibt Richtung und Größe der Kraft. Zur Bestimmung der drei Elemente sind also drei Messungen nötig, welche entweder gleichzeitig oder in aufeinanderfolgenden Versuchsreihen ausgeführt werden müssen. Das letztere ist der Fall bei der Eiffelschen Versuchsmethode. Hier ist der dem Luftstrom ausgesetzte Versuchskörper mit dem Arm einer Wage fest verbunden. Der Wagebalken ist so gebaut, daß er sich abwechselnd um zwei weit auseinandergelegene Achsen A und B drehen kann, was durch Verlängerung der Stange H erreicht wird. Dann wird das Drehungsmoment des Luftwiderstandes in bezug auf beide Achsen bestimmt. Um die dritte Gleichung zur Bestimmung der drei Elemente zu erhalten, wird die Versuchsfläche bei E um 180° gedreht (in die gestrichelte Lage), so daß sie mit der Bewegungsrichtung der Luft den gleichen Winkel wie vorher bildet, jedoch nach unten anstatt nach oben. In der neuen Stellung wird das Drehungsmoment erneut gemessen. Es ist gleich jenem, welches die Fläche in ihrer ersten Stellung um einen gedachten Punkt C ausüben würde, welcher in bezug auf die Stromrichtung mit dem Punkt A zusammen symmetrisch liegt. Aus diesen drei Drehungsmomenten werden die Elemente der Kraft folgendermaßen bestimmt:

Bekannt ist aus der Konstruktion die Lage der Achsen A, B, C; es ist $AB = c$ und $AC = b$. Ferner durch den Versuch die Drehungsmomente $\Delta_1 \Delta_2 \Delta_3$ der Luftwiderstandskraft in bezug auf jede der drei Achsen. Seien X und Y die Komponenten der gesuchten Kraft, y und x die Ordinaten der Schnittpunkte mit der Ordinaten- und Abszissenachse, wobei A als Koordinatenanfangspunkt gerechnet ist, so ist das Drehungsmoment um A: 1. $X.y + Y.x = \Delta_1$, ferner jenes um B, welcher Punkt um die Strecke c weiter nach links liegt: 2. $Xy + Y(x-c) = -\Delta_2$. Ferner wird das Drehungsmoment um C: 3. $X(y-b) + Y.x = -\Delta_3$. Subtrahiert man Gleichung 1 von 2 und von 3, so ergibt sich leicht:

$$Y = \frac{\Delta_2 + \Delta_1}{c}$$

$$X = \frac{\Delta_3 + \Delta_1}{b}$$

Setzt man diese Werte in Gleichung 1 ein, so hat man eine Gleichung mit zwei Unbekannten x und y, und das ist die Gleichung der Geraden der gesuchten Kraft. Eiffel hat übrigens die Lage des Kraftmittelpunktes noch direkt bestimmt, indem er die Fläche an einer verschiebbaren Querachse aufhing und die Neigung suchte, bei welcher die Fläche astatisch aufgehängt erschien.

Eiffel ist auch der erste, der die Verteilung des Luftdrucks auf einer Aeroplanfläche manometrisch ermittelt hat. Es ergab sich, daß für gewölbte Platten von einer Breite

von 90 cm, einer Tiefe von 15 cm der Hauptdruck nahe am vorderen Rande gelegen ist, und daß bei Stoßwinkeln unter 15° der Saugdruck auf die Rückseite ungefähr doppelt so groß ist wie der Stoßdruck auf die Vorderseite. Dies erklärt sich daraus, daß infolge des Stauens vor der wagerechten Vorderkante die Luft sich teilt und teils nach oben, teils nach unten ausweicht. Die nach oben ausweichenden Partien werden sodann durch die Saugwirkung der Rückseite erfaßt und wieder nach unten abgelenkt. Gleichzeitig holt die Rückseite aber noch außerdem von oben her andere Luft nach, sie hat infolgedessen mehr Arbeit zu leisten als die Unterseite und erleidet einen größeren Widerstand. Ein aufwärts gerichteter Gegenstrom gegen die Druckrichtung der Aeroplanfläche tritt an der Vorderkante und seitlich der Fläche auf, wie die direkte Beobachtung lehrt. Er übt an den Kanten eine saugende Wirkung. Hieraus erklären sich die auf dem Druckdiagramm sich zeigenden Unterdruckmaxima.

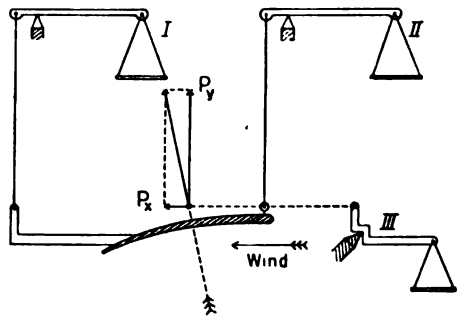


Abbildung 2. Prandtls Aufhängung einer Aeroplanfläche im Windtunnel.

Die unter kleinem Stoßwinkel bewegte Platte zeigt ein vom senkrechten Luftstoß charakteristisch verschiedenes Strömungsbild. Bei spitzem Luftstoß werden die Luftmassen vorwiegend senkrecht zur Bahn seitwärts geschoben, während sie bei senkrechtem in der Bewegungsrichtung vorwärts gedrängt werden, sich nach den Seiten zerstreuen und, wie ein Mantel um den Körper herumschlagend, sich hinter demselben wieder vereinigen. Der Übergang von einem Strömungsbild zum anderen ist durch eine Unstetigkeit des Druckes markiert.

Abbildung 4 gibt eine Zusammenstellung einiger Versuchsergebnisse Eiffels nach einer zuerst von Lilienthal angewendeten Darstellungsweise. Dieselbe besteht darin, daß angenommen wird, in dem Anfangspunkt eines Koordinationssystems befinde sich die Aeroplanfläche in entsprechender Winkelstellung, wobei sie in horizontaler Richtung vom Winde, in unserem Falle von rechts nach links, angeblasen wird. Nun wird der hierdurch erzeugte Luftwiderstand nach Größe und Richtung, vom Anfangspunkt (rechts unten) aus, als Strahl aufgetragen, und die Endpunkte sämtlicher Strahlen durch eine Kurve verbunden, die sogenannten Polare des Flügels. Die Ordinaten dieser Kurve sind dann die Auftriebe, die Abszissen die Bewegungswiderstände der Fläche. Die zugehörigen Einstellwinkel sind durch Marken auf den Kurven kenntlich gemacht. Das Profil der Platten ist jeweils eingezeichnet. Der Grundriß der Platten betrug 15 × 90 cm. Mit Ausnahme des Blériotschen Flügels, dessen Abmessungen 20·5 × 80·5 cm betrugen mit stark abgerundeten Ecken.

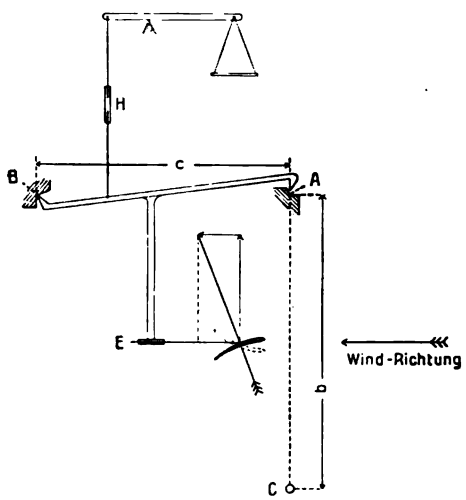


Abbildung 3. Eiffels aerodynamische Wage.

Die Abbildungen 5—14 zeigen einen Teil der Prandtlschen Versuchsergebnisse für eine Platte von 20×80 cm unter Wölbungen von 2·49, 2·04, 1·65, 1·42, 1·00, 0·8, 0·33, 0·00 cm.

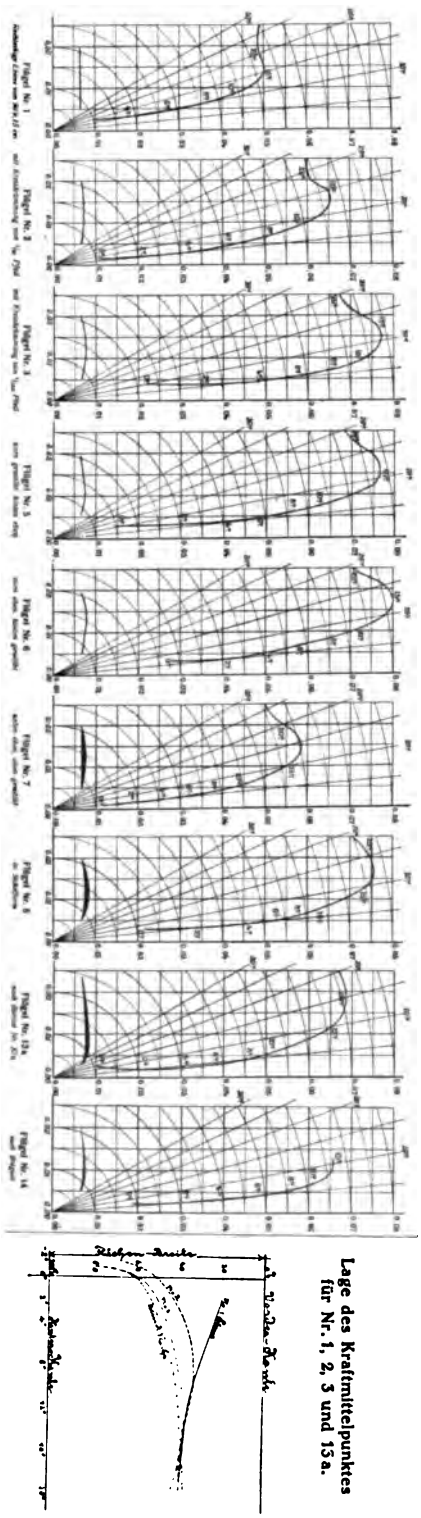


Abbildung 4.

Eiffels Polarkurven.

Lage des Kraftmittelpunktes für Nr. 1, 2, 3 und 15a.

Die Änderung des Druckes mit dem Neigungswinkel, den Wölbungen und dem Format rechteckiger Platten ist in der Modellversuchsanstalt in Göttingen genauer untersucht worden, und befinden sich die Ergebnisse in guter Übereinstimmung mit denjenigen Eiffels, Rateaus und Dines', des einzigen älteren Forschers, dem die merkwürdigen Unstetigkeiten dieser Flächen nicht entgangen sind. Die Versuchsresultate der Gebrüder Lilienthal sind nicht einwandfrei, da die Flächen für den angewendeten Rotationsapparat etwas zu groß und nicht theoretisch korrekt angelegt waren; namentlich ist die Messung der Bewegungswiderstände unsicher.

Das Charakteristische im Widerstandsverlauf einer gewölbten Platte besteht darin, daß in der Nullstellung, wenn die Sehne des Wölbungsbogens der Platte horizontal liegt, eine positive, wenn auch geringe Tragkraft vorhanden ist (erst bei -4^0 ist der Druck wirklich Null), dann steigt die Tragkraft, wenn die Fläche allmählich steiler gestellt wird, ziemlich proportional dem Stoßwinkel bis zu einem Werte dieses Winkels von 12—20°. Hier liegt ein kritischer Punkt; denn bei weiterer Vergrößerung des Stoßwinkels wächst die Tragkraft nicht mehr, sondern beginnt wieder zu fallen, anfangs rasch, dann langsamer.

Der Einfluß des Seitenverhältnisses der rechtwinkligen Platten wurde in Göttingen untersucht. Es zeigte sich, daß breite und wenig tiefe Platten bei gleicher Größe eine erheblich größere Tragkraft haben als schmälere und tiefere Platten, jedoch nur bei kleinen Stoßwinkeln; bei größeren ist die Tragkraft der mehr quadratischen Platte überlegen.

Bei quadratischen, gewölbten und ebenen Platten tritt die obenerwähnte Unstetigkeit beim Wechsel des Strömungsbildes am überraschendsten auf, und zwar bei Strömungswinkeln von 38—42°. In diesem Bereich sind zwei stark verschiedene Widerstandswerte möglich. Wird die Neigung der Platte, mit kleinen Stoßwinkeln beginnend, allmählich vergrößert, so erhält man um 60—80 % höhere Widerstandswerte, als wenn man die Platte senkrecht stellt und den Neigungswinkel allmählich vermindert. Im ersten Fall schmiegen sich die Strömungslinien der Platte ziemlich an (Abbildung 15), im zweiten

Winddruck auf gewölbte Platten von verschiedener Wölbung.
Pfeilgrundriß $20 \times 80 \times 0{\cdot}4$ m.

Abbildung 5. Skizze der Aufhängung.

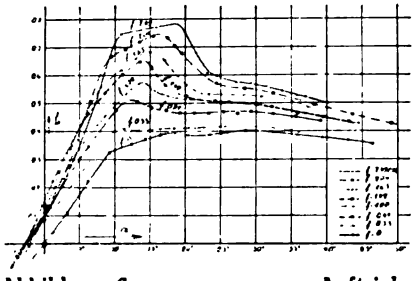


Abbildung 6. Auftrieb.

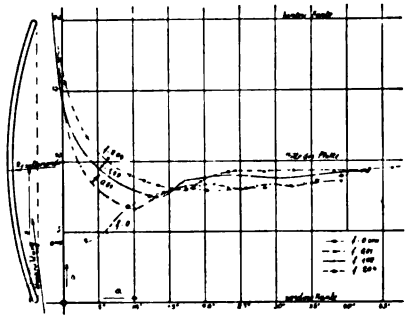


Abbildung 8. Lage des Druckmittelpunktes.

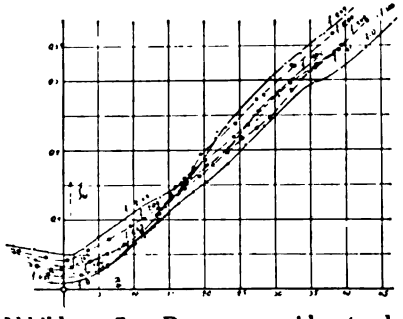


Abbildung 7. Bewegungswiderstand.

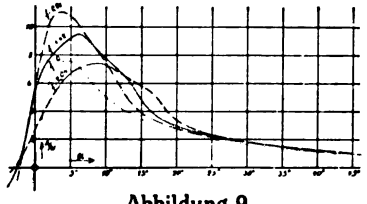
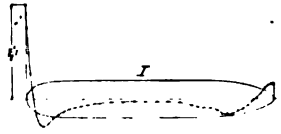
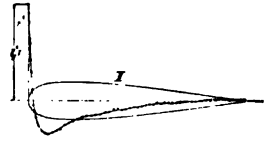


Abbildung 9.
Verhältnis $\frac{\text{Auftrieb}}{\text{Bewegungswiderstand}}$.

Ballonmodelle.





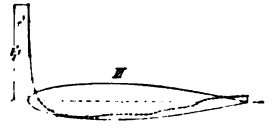
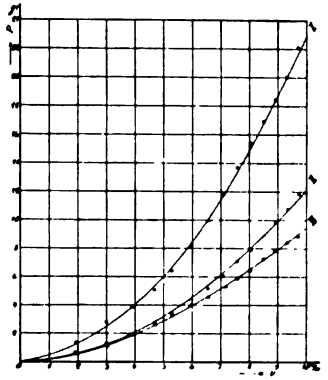
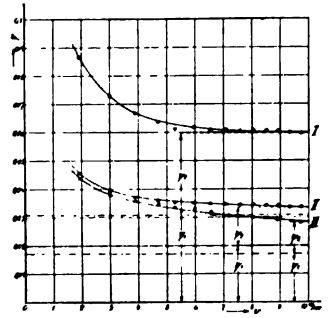


Abbildung 10—12. Druckverteilung.



Abbild. 13. Gesamtwiderstand der Modelle bis $v = 10$ m/sek.



Abbild. 14. Luftwiderstandskoeffizient ψ der Modelle

$$W = \psi \cdot f \frac{\gamma}{g} v^2$$

Fall gehen sie im Bogen darüber weg (Abbildung 16), wie durch photographierte Rauchstrahlen festgestellt wurde. Die schärfere Ablenkung der Stromlinien ergibt die größeren Kräfte.

Die Verschiebung des Kraftmittelpunktes ist aus Abbildung 4 ersichtlich.

Im Bereich der für den Flug wichtigen Stoßwinkel zwischen 0 und 10° ist mit einer Vergrößerung des Stoßwinkels eine Verlegung des Kraftmittelpunktes gegen die Vorderkante zu verbunden; bei $\alpha = 0^0$ liegt er ziemlich weit hinter der Mitte und wandert bei $\alpha = 10—12^0$ bis auf ca. 30% der Flächenbreite nach vorn. Diese Verlegung des Stützpunktes ist bei Flugzeugen sehr gefährlich, weil sie nicht selten ein gänzliches Umkippen herbeiführt.

An Ballonkörpern wurde in der Modellversuchsanstalt in Göttingen die Druckverteilung auf der Oberfläche untersucht. Hierbei ergab sich, daß das vordere Ende eines Ballonkörpers Überdruck erhält, aber nur in der Mitte des Querschnitts; auf ca. 72% des Halbmessers, von der Mitte abgerechnet, wird der Druck Null. In der ringförmigen äußeren Hälfte des Querschnitts stellt sich Unterdruck ein, so daß am Kopfe der Unterdruck dem Überdruck nahezu die Wage hält. Auf der Rückseite des Körpers finden wir wieder auf dem äußeren Umkreis des Querschnitts Unterdruck, und an der hintersten Spitze, da, wo man es am wenigsten erwarten sollte, Überdruck (siehe Abbildung 10—12). Die Erscheinung erklärt sich folgendermaßen: durch den Stau an der Vorderseite des Ballonkörpers wird die Luft geteilt. Außer den der Bewegungsrichtung entgegengesetzten Kräften entstehen zentrifugale Kräfte, welche die Luft nach allen Seiten von der Ballonachse wegtreiben. Um diese zentrifugalen Bewegungen aufzuheben, sind später ansaugende Kräfte nötig, welche die Flüssigkeitsfäden der Ballonachse wieder nähern. So erklärt sich das Auftreten des Unterdrucks auf der Vorderseite. Auf der Rückseite des Ballons wird den Flüssigkeitsfäden eine axial gerichtete Geschwindigkeitskomponente erteilt. Wenn sich die Fäden hinter dem Ballon wieder vereinigen, erzeugen sie bei der Aufhebung dieser Axialkomponenten den beobachteten Überdruck. Während aber auf der Stirnseite des Ballons Unterdruck und Überdruck sich annähernd die Wage halten, ist dies auf der Überdruckseite nicht der Fall, und die Saugwiderstände überwiegen. Das Ergebnis ist im ganzen ein Bewegungswiderstand, der sogenannte Form- oder Verdrängungswiderstand. Der Grund hierfür liegt darin, daß die Luft durch die Reibung am Ballon an Geschwindigkeit verliert, so daß die Flüssigkeitsfäden sich hinter dem Körper mit geschwächter Kraft vereinigen und der Überdruck an der hinteren Spitze schwach ausfällt. Hierzu tritt der Reibungswiderstand, welcher von Kräften herrührt, die zur Ballonoberfläche parallel sind. Die Größe des Reibungswiderstandes wurde auf indirektem Wege gefunden, indem der Formwiderstand aus

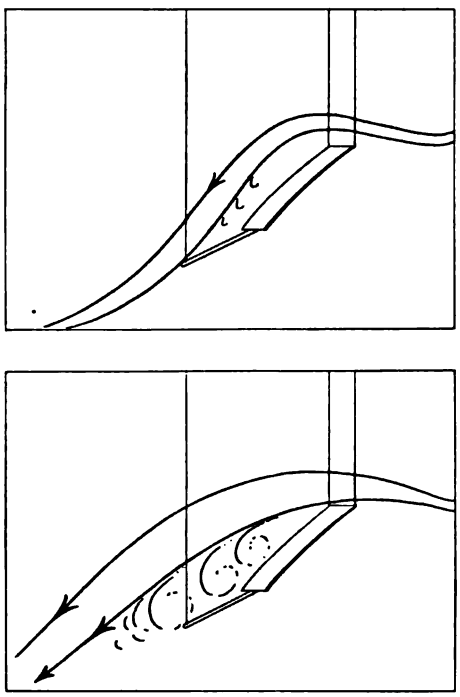


Abbildung 15 und 16. Rauchstrahlen an aufgehängten Platten im Windtunnel nach Photographie.

den gemessenen, statischen Drucken berechnet und außerdem der Gesamtwiderstand des Körpers gemessen wurde; die Differenz beider ergibt dann den Reibungswiderstand. Reibungs- und Formwiderstände sind in erheblichem Maße abhängig von der mehr oder minder zweckmäßigen Gestalt des Ballonkörpers; je sanfter die Umlenkung der Flüssigkeitsfäden erfolgt, um so geringer sind beide. Körper von mangelhafter Stromlinienform — das sind solche, bei welchen die Kontur Ecken oder mindestens stark gekrümmte Kurven aufweist, wobei die Flüssigkeitsfäden der Oberfläche nicht folgen können, sondern sich von ihr ablösen — haben erheblich größere Widerstände, namentlich wenn die Rückseite des Körpers zu scharf abgeschnitten ist (z. B. bei einer halbkugelförmigen Rückseite).

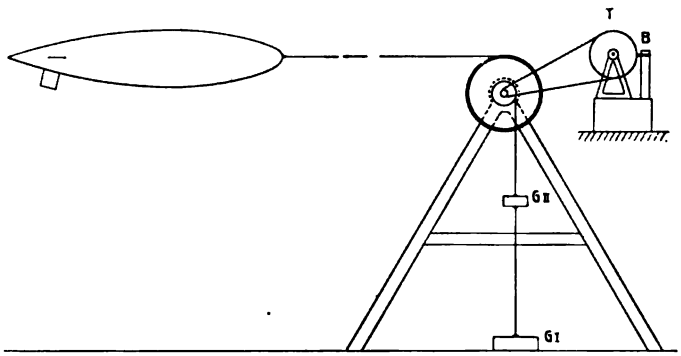


Abb. 17. Schleppvorrichtung für Ballonmodelle mit Gewichtsantrieb.

Die Formwiderstände sind dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional, die Reibungswiderstände aber nicht. Vielmehr wachsen diese mit einem niedrigeren Exponenten. Je glatter und wirbelfreier die Stromlinienführung ist, um so niedriger ist dieser Exponent. Die Widerstandsgleichung für einen solchen Ballonkörper hat daher die allgemeine Form:

$$W = F\frac{\gamma}{g}(\psi_1 v^2 + \psi_2 v^\beta)$$

Die Koeffizienten ψ_1 und ψ_2 und $^2\beta$ hielten bei $v = 10$ m für drei untersuchte Modelle folgende Werte:

	ψ_1	ψ_2	β
I	0,0308	0·0289	1·81
II	0,0191	0·0136	1·71
III	0,0171	0·0112	1·55

Die Hauptabmessungen der drei Versuchskörper waren folgende:

	Länge	Größter Durchmesser F	Hauptspant-querschnitt	Volumen V	Oberfläche O
Modell I	1300 mm	200 mm	0,0314 qm	0,0339 cbm	0,745 qm
„ II	1125 mm	194 mm	0,0296 qm	0,0182 cbm	0,479 qm
„ III	1145 mm	188 mm	0,0278 qm	0,0182 cbm	0,479 qm

Der Formwiderstand sowohl als die Reibungswerte sind überraschend klein. Der Widerstand des Modells III bei 10 m Geschwindigkeit ist ca. neunzehnmal kleiner als derjenige einer kreisförmigen Platte von gleichem Querschnitt. Da die Reibung der Luft eine so erhebliche Rolle spielt, so müssen die Widerstände in wirbelerfüllter Luft merklich größer sein als in Luft von absoluter Ruhe. Dies gilt erfahrungsgemäß auch für die Formwiderstände, z. B. den Verdrängungswiderstand von Aeroplanflächen.

Rings um den Körper entsteht eine Gegenströmung, welche die vom Vorderteil verdrängte Luft nach hinten befördert; eine bei allen bewegten Körpern auftretende Erscheinung.

Drähte haben einen beträchtlichen Luftwiderstand. Für die in der Praxis vorkommenden Verhältnisse ist die Formel:

$$W = F v^2 . \frac{\gamma}{g} . \psi \text{ der Koeffizient } \psi = 0{\cdot}45.$$

Seile haben, je nach ihrer Rauhigkeit, einen etwas größeren Widerstand, zwischen 0,45—0,60 (siehe Mitteilungen der Göttinger Modellversuchsanstalt).

Schleppversuche auf geradliniger Bahn sind unter anderen von Parseval ausgeführt worden; die Anordnung zeigt Abbildung 17. Zu dem Versuche stand eine nur 28 m lange Halle zur Verfügung. Die Versuchskörper waren ca. 6 m lang und hatten 1 m im Durchmesser; sie waren mit Wasserstoff gefüllt und hielten sich frei in der Schwebe; versehen waren sie mit Stabilisierungsflächen und wurden durch fallende Gewichte in Bewegung gesetzt, derart, daß ein größeres Gewicht G_I die entsprechende Geschwindigkeit erzeugte, sodann auf den Boden aufsetzte, worauf ein kleineres Gewicht G_{II} die gleichmäßig fortschreitende Bewegung unterhielt. Die Geschwindigkeitsmessung geschah in der Weise, daß die zu messende Geschwindigkeit auf eine mit Papier überzogene Trommel T, entsprechend reduziert, übertragen wurde. Auf dieselbe schrieb eine oszillierende Blattfeder mittels eines kleinen, mit leichtflüssiger Tinte gefüllten Pinsels ihre Oszillationen. Die Länge derselben ist der Geschwindigkeit proportional. Die Feder brauchte nur einen einzigen Anstoß zu Beginn des Versuchs. Der Chronograph erwies sich sehr praktisch für die Aufzeichnungen der Geschwindigkeit rasch verlaufender Bewegungen.

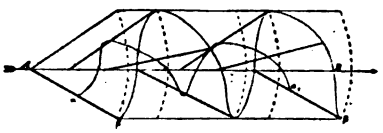
Zum Versuch gelangten zylindrische Ballons mit vorn und hinten ziemlich kurz abschneidenden Enden. Die größte erreichte Geschwindigkeit betrug 5,47 m/sek. Hierbei war der Widerstand des Ballonkörpers $W = f v^2 . \frac{\gamma}{g} . 0{\cdot}175$, wobei f den größten Querschnitt des Körpers bedeutet. Körper von guter Stromlinienform, wie auf der Skizze, haben weit kleinere Widerstände, insbesondere auch eine geringere Luftreibung.

2. DIE MECHANIK DES VOGELFLUGS

DER RUDERFLUG. Der Vogelflug hat sicherlich die Anregung zur Entwicklung der Luftfahrt gegeben. Wenn auch das Geheimnis, welches diese Naturerscheinung früher umgab, als enthüllt zu betrachten ist, so sind doch mit den Flugmaschinen noch nicht diejenigen Effekte erreicht, welche die Vögel an ihrem Gefieder aufweisen. Einerseits ist der schädliche Widerstand bei den Vögeln anscheinend weit kleiner als derjenige der Luftfahrzeuge, anderseits die Hebewirkung der Flügel größer.

Wir betrachten zuerst den einfachsten Fall des Fluges, den sogenannten Ruderflug in horizontaler Richtung mit gleichförmiger Geschwindigkeit.

Hierbei erfolgen die Flügelschläge in gleichmäßigem Tempo, und zwar in der Hauptsache von oben nach unten und etwas nach vorwärts. Die einzelnen Teile des Flügels beschreiben dabei im Raume Wellenlinien, und zwar an der Flügelspitze die höchsten und an der Flügelbasis die flachsten Wellen.



Abbild. 18. Trajektorien des Flügels.

Würde der Flügel eine ebene starre Platte bilden, so würde er hauptsächlich mit den äußeren Teilen arbeiten und einen schlechten Effekt geben. Damit die ganze Flügelfläche, namentlich auch die innenliegenden Teile ausgenutzt werden, wird der Flügel beim Schlage so verdreht, daß alle Profile in ungefähr gleichem Winkel zu ihrer Bahn stehen und sich möglichst gleichmäßig an den Hebewirkungen beteiligen. Hierdurch entsteht eine verwundene Form, bei welcher an den inneren Teilen der Vorderrand höher steht wie der Hinterrand, während bei den äußeren Teilen das Umgekehrte der Fall ist. Die inneren Teile des Flügels haben dann eine Hebewirkung, ähnlich einer Drachenfläche, die äußeren, außer der Hebewirkung, noch eine vortreibende Wirkung, ähnlich wie bei einer Luftschraube.

Die Verwindung des Flügels muß sich aber auch, seiner Schlaggeschwindigkeit entsprechend, ändern, und zwar indem sie mit dem Wachsen der Schlaggeschwindigkeit zunimmt. Dies wird dadurch erreicht, daß der Flügel an der Vorderkante gehalten ist und die Hinterkante desselben elastisch dem Luftdruck nachgibt und entsprechend vorfedert, wenn der Luftdruck nachläßt. Abbildung 20 zeigt den Verlauf der Verdrehung während des mit zunehmender Geschwindigkeit geführten Flügelschlages.

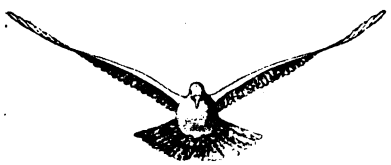


Abbildung 19. Verdrehung des Flügels im Schlage.

Die verschiedenen Flügel in der Natur haben entweder eine geschlossene Spitze, wie der Insekten- und Fledermausflügel und einige Vogelflügel, so daß sie sich im ganzen wie eine elastische Platte verdrehen. Bei den größeren Vögeln löst sich die Flügelspitze in einzelne Schwungfedern auf, wodurch die Verwindung bedeutend erleichtert wird (Abbildung 21). Beim Aufschlag geht die Vorderkante voraus, der Hinterrand bleibt zurück und an der Flügelspitze verdrehen sich die Federn derart, daß die von oben und vorn kommende Luft hindurchstreichen kann. An den inneren Teilen des Flügels kann dabei noch ein hebender Luftdruck vorhanden sein. Versuche haben ergeben, daß die Hebekraft einer solchen gitterförmig durchbrochenen Fläche derjenigen einer ganz geschlossenen Fläche beim Schlage nur wenig nachsteht.

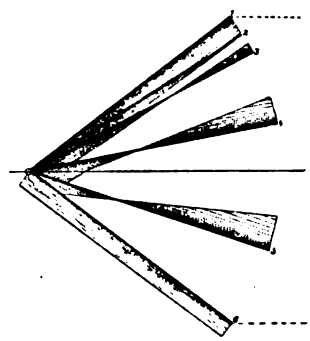


Abbildung 20. Formveränderungen des Flügels im Schlage.

Der steile Anstieg kann nur von kleineren Vögeln ausgeführt werden. Hierbei stellt sich der Vogel steil auf und schlägt mit den Flügeln in einer nahezu horizontalen Ebene von oben hinten nach vorn. Dabei ist es möglich, auch den Rückschlag des Flügels zur Hebung mit auszunutzen, indem die Spitze sich entsprechend verdreht. Diese Art des Fluges erfordert jedoch eine hohe Kraftleistung. Größere Vögel, z. B. Störche, große Geier, bedürfen eines Anlaufes, um sich zu erheben. Sehr häufig wird der Flug durch einen Absprung von einem hochgelegenen Sitzplatze aus eingeleitet und die nötige Fluggeschwindigkeit durch den Fall gewonnen. Der Schweif ist bei allen Vögeln verhältnismäßig klein und nahe am Schwerpunkt gelegen. Das Gleichgewicht in der Luft wird vornehmlich durch Ver-

schiebung oder auch durch Zusammenfalten der Flügel erhalten. Besonders bemerkenswert ist die geringe Kraftleistung beim Fluge. Die Größe dieser Leistung kann man aus den beobachteten Flugbewegungen und den bekannten Abmessungen des Vogels annähernd schätzen. Als Modell müssen uns solche Vögel dienen, welche gewohnheitsgemäß einen ruhigen, regelmäßigen Ruderschlag ausführen, in Deutschland: Taube, Krähe, Möwe und Storch. Beim Niederschlag des Flügels ist der äußere Luftdruck zu überwinden, welcher den Vogel trägt. Beim Aufschlag verschwindet die hebende Kraft nicht ganz, weil der ausgebreitete Schweif und der innere Teil der Flügel weiter als Tragfläche wirken. Gleichwohl ist die Tragkraft des Flügels beim Niederschlag erheblich größer, beim Aufschlag kleiner als das Gewicht des Vogels. Unter der Annahme, daß die Flügelhebung rascher erfolgt als der Schlag, ist der Luftdruck beim Schlage auf mindestens das $1^1/_3$fache des Gewichts zu schätzen.

Abbild. 21. Verdrehung der Schwungfedern (Krähe).

Die Lage des Zentrums dieses Druckes ist für eine Krähe aus Abbildung 23 ersichtlich. Die Arbeit, welche bei einem Flügelschlage geleistet wird, ist dann gleich dem Luftdruck, multipliziert mit dem vom Flügelschlag am Kraftmittelpunkt durchmessenen Bogen. Um die Arbeit pro Sekunde zu finden, muß man diese Ziffer noch mit der Zahl der in einer Sekunde ausgeführten Flügelschläge multiplizieren. In nachstehender Tabelle ist das Resultat der Schätzung für die obengenannten Vögel zusammengestellt. Die Flugarbeit ist hierbei für das Einheitsgewicht von 1 kg in kgm angegeben.

Tabelle I.

Vogelart	Gewicht kg	Flügelfläche	Spannbreite	Flügellänge	Abstand des Kraftmittelpunktes	Schlagfrequenz pro Sekunde	Schlagwinkel	Flügelbelastung	Flugarbeit reduziert auf 1 kg	Bemerkungen
Storch	2,140	0,519	2,08	0,96	0,42	1,8—2	45°	4/3 g	0,79—0,88	Maße nach Mouillard
Große Krähe	0,575	0,131	0,92	0,43	0,18	2,5—3	57°	4/3	0,60—0,71	
Kleine Krähe	0,490	0,096	0,75	0,35	0,17	2,7—3,2	57°	4/3	0,61—0,72	
Taube	0,360	0,058	0,67	0,31	0,14	4—5	50°	4/3	0,65—0,79	
Möwe	0,110	0,040	0,73	0,35	0,15	2,4—3	50°	4/3	0,42—0,52	

Besonders schöne Beobachtungen über Vogelflug enthält „L'empire de l'aire" von Mouillard (Paris, G. Masson), dessen mechanische Ausführungen allerdings nicht richtig sind.

Zu der Arbeit des Flügelschlages käme noch die der Flügelhebung hinzu. Die zur Hebung des Flügelgewichts nötige Arbeit wird beim Flügelschlag zurückgewonnen, indem sie den Schlag unterstützt. Die Luftwiderstände allerdings bilden einen reinen Arbeitsverlust. Ferner geht bei der Bewegungsumkehr des Flügels in der oberen Stellung Kraft verloren, indem der Flügel mit Geschwindigkeit ankommt, die durch Muskelspannung vernichtet werden muß. Bei der Bewegungsumkehr des Flügels im Tiefpunkt ist dies nicht der Fall. Hier setzen die Schlagmuskeln aus, und der Flügel

wird durch den Luftdruck von selbst zum Stillstand gebracht, wobei das elastische Gefieder gegen den Wind vorschnellt. Dadurch wird beim Flug mit Geschwindigkeit der Flügel auch wieder in die Höhe geworfen, und es ist keine oder nur wenig Muskeleinwirkung zur Hebung erforderlich, welche den Vogelleib nach unten drücken würde. Daß die Kraftwirkungen sich in dieser Weise abspielen, läßt sich aus den Momentphotographien des Fluges, namentlich aus jenen Mareys „La machine animale", erkennen; denn sonst müßte den Bewegungen des Flügels eine Reaktion des Vogelleibes entsprechen, welche dem wirklichen Fluge fast vollkommen fehlt. Da somit der Flügel beim normalen Flug in der Hauptsache durch Drachenwirkung emporgehoben wird, brauchen wir hierfür eine besondere Arbeitsleistung nicht einzusetzen, und die in der Tabelle angegebenen Werte für den Flügelschlag können mit guter Annäherung als die wirkliche Flugleistung gelten, mindestens insoweit dieselbe von rein aerodynamischen Verhältnissen bedingt ist.

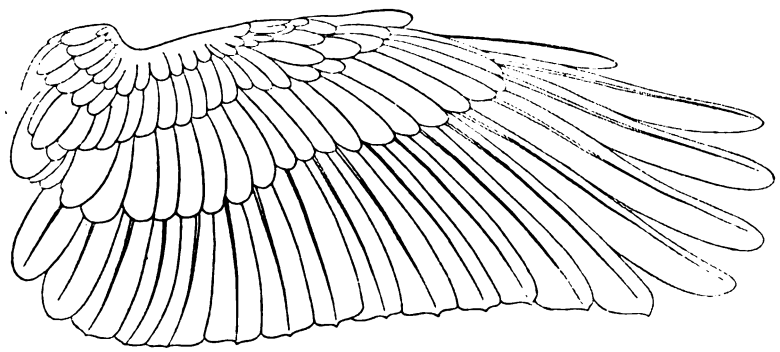


Abbildung 22. Krähenflügel.

Von Interesse ist der Vergleich der Tragfähigkeit des Vogelflügels mit derjenigen der bisher angewendeten Aeroplanflächen. In der Mitte des Flügels gibt es ein Profil, welches horizontal ist, und für dieses ist der Stoßwinkel α bekannt; er berechnet sich aus der Formel $\operatorname{tg}\alpha = \frac{S}{v}$, wo S die beobachtete Schlaggeschwindigkeit der Flügelmitte und v die Fluggeschwindigkeit bezeichnet. Dieser Winkel entspricht sehr nahezu dem mittleren Stoßwinkel der ganzen Flügelfläche. Die folgende Tabelle zeigt die Werte für Flug- und Schlaggeschwindigkeit nach meinen persönlichen Beobachtungen, ebenso wurde die Flächenbelastung durch direkte Messung ermittelt. Der Widerstand berechnet sich dann nach der Formel:

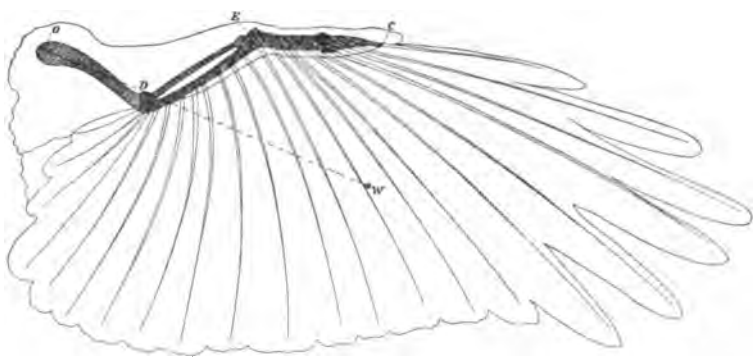


Abbildung 23. Krähenflügelskelett.

$$\frac{G}{F} = (v^2 + S^2) \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot \xi$$

wo G das Gewicht, F die Flugfläche und ξ einen Luftwiderstands-Koeffizienten bedeutet, der den Einfluß des Luftwiderstandes darstellt. Die Tabelle II enthält in Spalte 6 den nach Naturbeobachtung ermittelten Koeffizienten für den ermittelten Luftstoßwinkel und in den beiden letzten Spalten die entsprechenden Koeffizienten nach den Laboratoriumsversuchen von Prandtl und Eiffel. Man sieht, daß der Unterschied nicht sehr groß ist.

Tabelle II.

Vogelart	Horizontal-geschwindigkeit sek/m	Beobachtete Schlag-geschwindigkeit	Luftstoß-winkel	Flächen-belastung kg/qm	Luft-widerstands-Koeffizient ξ in der Natur	Laboratoriumsversuche	
						Koeffizient ξ nach Prandtl	Koeffizient ξ nach Eiffel
Große Krähe	6,5	0,73—0,81	5° 56'—7° 6'	4,4	0,82	0,46	0,48
Kleine Krähe	7	0,74—0,82	5° 37'—7° 39'	5,1	0,82	0,44	0,46
Taube	8	0,73—0,92	5° 14'—6° 32'	6,2	0,77	0,44	0,46
Möwe	8	0,47—0,59	3° 23'—3° 50'	2,75	0,34	0,37	0,38

Die Größe der Flugflächen und das Gewicht hat insbesondere Müllenhoff untersucht, und hat auch die Beobachtungen anderer, namentlich Mouillards, zum Vergleich herbeigezogen. Hiernach sind die Flugtiere im allgemeinen geometrisch ähnlich gebaut. Die Verhältnisse der Abmessungen sind bei kleinen und großen Vögeln die nämlichen. Hieraus folgt, daß der größere Vogel eine höhere Flächenbelastung hat. Gleichwohl werden bei großen und kleinen Vögeln ungefähr die gleichen Fluggeschwindigkeiten und die gleichen Flügelschlaggeschwindigkeiten beobachtet. Danach sollte man meinen, daß eine größere Fläche bei gleicher Geschwindigkeit einen größeren Luftdruck pro Flächeneinheit erfährt als eine kleine. Dies wird aber durch die Laboratoriumsversuche und auch durch die Erfahrungen an Aeroplanflächen nicht bestätigt. Eiffel gibt allerdings an, daß für Aeroplanflächen die Laboratoriums-Koeffizienten um 10% erhöht werden müssen, doch erklärt dies die Müllenhoffschen Feststellungen keineswegs. Die Tatsache besteht aber, daß Vögel mit den verschiedensten spezifischen Flächenbelastungen ungefähr mit der gleichen spezifischen Arbeitsleistung fliegen, ein Befund, der durch die physiologischen Untersuchungen bestätigt wird. So hat Professor Pütter in Göttingen einen Stoffumsatz festgestellt, der den oben festgestellten Arbeitsleistungen ungefähr entspricht, und große Vögel besitzen im allgemeinen die gleiche, oft sogar eine relativ geringere Flugmuskulatur wie kleine. Man muß wohl annehmen, daß bei den größeren Vögeln die Ungunst der Flügelbelastung durch eine zweckmäßigere Bauart des Flugzeuges ausgeglichen ist.

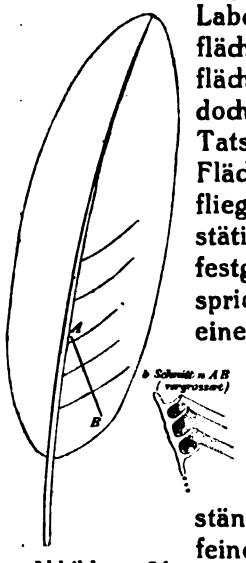
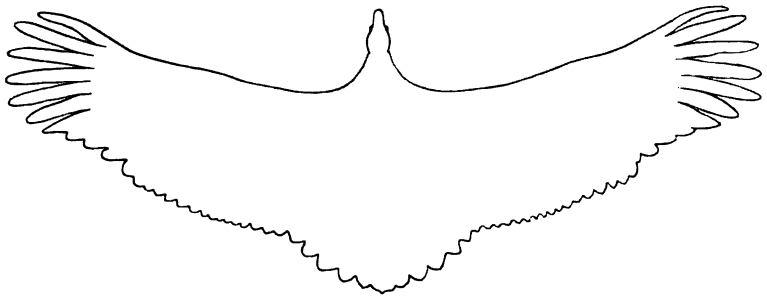


Abbildung 24. Vogelfederprofil.

Es ist namentlich von Ritter behauptet worden, daß auch die Rauhigkeit der Oberfläche von Einfluß auf die Luftwiderstände sei. Am Vogelgefieder beobachtet man auf der Unterseite eine feine Rippung, indem die Strahlen der Federn gegen unten aus der Fläche vorstehen. Bei starken Schwungfedern ist die Profilierung ganz ausgesprochen. Auf der Oberseite dagegen sind alle Flügel vollkommen glatt. Ob diese Rippung von Einfluß auf die Widerstände oder durch andere Gründe bedingt ist, bleibt vorerst unentschieden.

DER GLEIT- UND SCHWEBEFLUG. Das häufig beobachtete Dahingleiten der Vögel mit ausgebreiteten und unbewegten Flügeln wird Gleitflug genannt. Hierbei

wird bei ruhiger Luft die ganze Flugarbeit von der Schwerkraft geleistet. Die Flugfläche ist dabei leicht vornübergeneigt, so daß sie außer einer tragenden auch noch eine geringe treibende Wirkung äußert, welche den Luftwiderstand des Vogelkörpers überwindet. Die Flugbahn muß dabei in einem solchen Winkel nach unten gerichtet sein, daß der Wind die Flugfläche unter entsprechendem Stoßwinkel von unten trifft.



Abbild. 25. Gänsegeier in Schwebestellung nach Mouillard. Gyps fulvus.

Technisch wird dieser Vorgang bei den sogenannten Gleitflügen nachgeahmt. Der erste, welcher diesen Gleitflug praktisch ausführte, war der Deutsche Otto Lilienthal. Weiter ausgebildet wurde diese Methode durch die Gebrüder Wright. Diese gaben an, daß man als flachste Flugbahn eine Neigung erhalten könne, bei welcher die zurückgelegte Strecke achtmal größer ist als die Fallhöhe, und ähnliches beobachtet man auch bei Vögeln. Hieraus folgt, daß man einen solchen Apparat zum horizontalen Flug als Drachenflieger bringen kann, wenn man eine Zugkraft an demselben anbringt, welche gleich ist dem Gewicht mal Sinkverhältnis, d. i. gleich dem achten Teil seines Gewichts. Ist v die Geschwindigkeit und β der Gleitwinkel, so ist der Höhenverlust beim Sinken $(v . \sin \beta)$ und der Arbeitsverbrauch $G . v \sin \beta$. Die beim Aeroplanflug zuzuführende Arbeit muß jenen Betrag ersetzen. Es muß also, wenn P den Zug der Schraube bedeutet, sein

$$P . v = G . v . \sin \beta, \text{ woraus } P = G . \sin \beta,$$

der Wert von $(\sin \beta)$ ist aber dem Sinkverhältnis gleich, womit obiger Satz bewiesen ist.

So einleuchtend diese Erklärung des Gleitfluges ist, so wenig reicht sie zur Erklärung des Schwebefluges der Vögel aus. Nach der obigen Theorie müßte der Vogel fortdauernd mit nicht unbeträchtlicher Geschwindigkeit sinken; allein in der Natur wird die Bewegung ohne Flügelschlag oft lange Zeit fortgesetzt, ohne daß der Vogel sinkt, ja, er schraubt sich dabei oft zu großen Höhen empor. Hierüber schreibt Mouillard: „Ich habe es gesagt und wiederhole es: ein großer Geier kann ohne Flügelschläge fliegen. Die folgende Tatsache habe ich nicht einmal, sondern hundertmal beobachtet. In den Schlachthäusern des Orients sind die großen Geier zahlreich versammelt und harren des Moments, sich auf ihren Fraß zu stürzen, indem sie ohne Flügelschlag schweben. Sie steigen hoch ins Blaue, kommen auf 200 m herunter, mit dem Wind, gegen den Wind, nach links und rechts, durchsuchen die ganze Umgebung nach Aas und setzen ihre Streifereien den ganzen Tag fort, machen zwanzig Aufstiege zu 1000 m, hundert Meilen Weg, und alles ohne einen einzigen Flügelschlag."

Exner in Wien wollte die Erscheinung durch für das Auge unsichtbare Zitterbewegungen der Flügel erklären, was nicht ohne weiteres zurückgewiesen werden kann, wofür der Beweis aber nur durch technische Rekonstruktion des Vorganges zu erbringen wäre. Die übrigen Erklärer beziehen sich auf die dem Auge unsichtbare Bewegung der Luft. So hat namentlich Lilienthal das Segeln aus aufsteigenden Luftströmungen erklärt, Langley aus den Vibrationen und Wirbeln der Luft, der sogenannten inneren Arbeit des Windes; andere lassen den Vogel die Unterschiede in den Strömungs-

richtungen des Windes ausnützen. Zunächst darf angenommen werden, daß der schädliche Luftwiderstand des Vogelleibes und Vogelgefieders ein weit geringerer ist als derjenige der Aeroplane, so daß dem Vogel die Erreichung einer größeren Geschwindigkeit leichter fällt. Zweitens ist die Segelfläche des Vogels nicht so wie bei unseren Aeroplanen eine gleichförmig geneigte Fläche, vielmehr ist in der Mitte die Neigung und Wölbung sowie die Dicke des Flügels am größten, gegen die Flügelspitze ist die Fläche schwächer geneigt, flacher gewölbt und sehr dünn, was zweifellos besondere Vorteile mit sich führt. Man darf also annehmen, daß das Vogelgefieder auch eine bessere Tragkraft besitzt als unsere technischen Gebilde und somit weit besser befähigt ist, die in der Atmosphäre vorhandenen Kraftquellen auszunützen.

Sicher sind die aufsteigenden Luftströmungen das Haupthilfsmittel für den Segelflug. Sobald die Geschwindigkeit des aufsteigenden Stromes gleich oder größer ist als die Sinkgeschwindigkeit des Vogels bei ruhiger Luft, ist es dem Vogel möglich, ohne Höhenverlust zu segeln und selbst höherzusteigen. Zum horizontalen Segeln gehört demnach ein aufsteigender Strom von mindestens 0,8 m/sek-Geschwindigkeit, und solche Luftbewegungen sind sehr häufig. Sie entstehen überall, wo sich Luft durch Berührung mit dem Boden stark erwärmt, z. B. über sonnenbeschienenen, vegetationslosen Flächen, wie über Sandwüsten und an steilen Berglehnen. Das Emporschießen der Kumulusköpfe bei Gewitterbildungen wird stets durch sie veranlaßt. Häufig sieht man kleinere Vögel, wie Möwen und Krähen, solche Erscheinungen aufsuchen, um sich in dem aufsteigenden Strom emportragen zu lassen. Auch verstehen viele Vögel sehr gut den aufsteigenden Staustrom auszunutzen, welcher sich vor hohen Hindernissen bildet. Aber auch die Wirbelbewegungen der Luft befördern die Hebung beim Fluge. Die Form des Flügels ist derart, daß aufsteigende Strömungen eine hohe Hebekraft ausüben, während absteigende Strömungen die Tragkraft möglichst wenig schwächen. Dies wird noch dadurch unterstützt, daß der Flügel entsprechend der wechselnden Windrichtung federnd gedreht wird. An schwebenden Möwen sieht man bei böigem Wetter ein fortwährendes Hin- und Herwenden der Flugflächen. Auf diese Weise vermag der Vogel das abwechselnde Auf und Nieder der Windwellen zur Hebung nutzbar zu machen. Im übrigen ist es eine Erfahrungssache, daß bewegte Luft die Hebung beim Fluge begünstigt und, populär gesprochen, besser trägt als ruhige Luft. Die Ausnutzung von Geschwindigkeitsunterschieden des Windes in verschiedenen Höhenlagen durch Kreisen ist denkbar, aber kaum anzunehmen.

Der Flug der Insekten ist bestimmt durch die geringe Größe der Tiere, infolgedessen ist die Flächenbelastung der Flügel sehr gering, und der Flügel ist verhältnismäßig klein und sehr einfach. Er besteht nicht aus Teilflächen, sondern aus einer geschlossenen Membran mit versteiftem Vorderrand und nachgiebigem Hinterrand. Beim Aufschlag wird er gedreht, so daß er mit der Kante gegen die Luft geht; er ist meist ruderartig geformt, außen breit und innen schmal. Insekten mit mehreren Flügeln, z. B. die Libellen, schlagen, wie die Momentphotographie gelehrt hat, abwechselnd mit dem vorderen und dem hinteren Flügelpaar. Die Zahl der Flügelschläge ist, entsprechend der geringen Länge der Flügel, eine erstaunlich große, bis zu 300 in der Sekunde und mehr nach den Beobachtungen Mareys. Bei der hohen Schlagfrequenz ist die Stabilität des Fluges viel besser gewährleistet als bei den Vögeln, denn die bei jedem Flügelschlag auftretenden Störungen des Gleichgewichts sind proportional dem Quadrat der Zeitdauer eines Flügelschlages; deshalb bedürfen die Insekten keines Schweifes.

In der Insektenwelt ist die Flugfähigkeit keineswegs spärlich verteilt. Man findet die mannigfachsten Formen; manche Tiere, z. B. geflügelte Ameisen, werfen ihre Flügel ab, wenn diese ihren Zweck erfüllt haben. Die Käfer mit hornartigen Flügeldecken, z. B. Maikäfer, breiten ihre Flügeldecken wie Aeroplanflächen aus, während die feinen Membranflügel schwirrende Bewegungen machen. Die geringe Flächenbelastung infolge der kleinen Abmessungen erleichtert hier den Flug ungemein, namentlich wird das Schweben auf der Stelle leicht möglich. Der Kraftverbrauch ist verhältnismäßig groß, doch läßt sich bei der Kleinheit der Tiere der Bedarf an Nahrung leicht decken.

3. DIE LUFTSCHRAUBE

Das wichtigste Werkzeug der Luftfahrt, für Flugzeuge wie für Luftschiffe gleich unentbehrlich, ist die Luftschraube. Sie erzeugt den zur Bewegung der Flugzeuge notwendigen Antrieb, sie liefert als Tragschraube die Hubkräfte der Apparate. Ihre Kraftäußerung ist parallel zur Achse und wird Axialkraft genannt.

Die Axialkraft entsteht nach Rankine als Reaktion eines zur Achse parallelen Luftstroms. Man kann daher die Schraube auch auffassen als ein Werkzeug zur Hervorbringung eines Luftstroms von starker Reaktion mit möglichst geringem Arbeitsaufwand.

Sei L die Masse der pro Sekunde durch die Schraube gehenden Luft, w die ihr erteilte Geschwindigkeit, so ist die Axialkraft $P = L \cdot w$. Die Luft wird hierbei von allen Seiten her angesaugt. Schon in geringer Entfernung vorwärts der Schraube ist die Luftbewegung kaum mehr fühlbar. Hinter der Schraube dagegen kontrahiert sich der Luftstrom asymptotisch, er erlangt erst in einiger Entfernung von der Schraube im kleinsten Querschnitt annähernd seine größte Geschwindigkeit und schießt geschlossen eine größere Strecke weiter, bis er sich allmählich in Wirbel auflöst. Die Ursache der Strahlkontraktion liegt darin, daß die Luftteilchen auf der Rückseite nicht parallel zur Achse angesaugt werden, sondern von allen Seiten her eintreten, somit eine gegen die Achse gerichtete Geschwindigkeitskomponente mitbringen, welche den Strahl, indem sie aufgehoben wird, zusammendrückt. Theoretisch sollte der kleinste Querschnitt gleich dem halben Schraubenkreis F sein, der Durchmesser also ca. 71 % des Schraubendurchmessers. Dann ist die geförderte Luftmasse $L = {}^1/_2 F \cdot w \cdot \frac{\gamma}{g}$ und der Axialdruck

$$1. \quad P = L \cdot w = {}^1/_2 F w^2 \frac{\gamma}{g}$$

Die Arbeit, welche zur Erzeugung dieser Bewegung nötig ist, beträgt im Idealfall (wenn gar keine Wirbel, unbeabsichtigte Nebenbewegungen usw. im Strom wären — ideale Schraube)

$$2. \quad A = {}^1/_2 L w^2 = {}^1/_4 F w^3 \frac{\gamma}{g} = P \frac{w}{2}$$

Bei einer Schraube mit der Marschgeschwindigkeit v besitzt die Luft von vornherein relativ zur Schraube die Geschwindigkeit v und erlangt hinter ihr die Endgeschwindigkeit $v + w$. In der Schraubenebene selbst ist die relative Geschwindigkeit der Luft $v + {}^1/_2 w$, und die durch die Schraube gehende Luftmasse ist $L = F\left(v + \frac{w}{2}\right)\frac{\gamma}{g}$ und der Axialschub

$$3. \quad P = L \cdot w = F \cdot \frac{\gamma}{g}\left(v + \frac{w}{2}\right) w$$

Der Arbeitsbedarf setzt sich zusammen aus der auf das Fahrzeug übertragenen Arbeit P.v und aus der in die Luft gelegten Arbeit $^1/_2 L.w^2$, es ist

$$4.\quad A = P.v + {}^1/_2 L w^2 = P.v + F\left(v + \frac{w}{2}\right)\frac{\gamma}{g}\frac{w^2}{2} = P.\left(v + \frac{w}{2}\right)$$

(ideale Schraube im Marsch).

Der Effekt der idealen Schraube findet sich aus

$$\eta = \frac{P\,v}{P.v + F\frac{\gamma}{g}\left(v + \frac{w}{2}\right)\frac{w^2}{2}} = \frac{v}{v + \frac{w}{2}}$$

Die wirkliche — reale — Schraube bewirkt die Luftbewegung durch schräg gestellte Flächen, welche an einem Arm senkrecht zur Fahrtrichtung im Kreise bewegt werden.

Die einzelnen Teile der Schraube haben also eine doppelte Geschwindigkeit: die Umlaufsgeschwindigkeit, welche je dem Abstande der Profile von der Achse proportional ist, und die allen Teilen gemeinsame Fahrgeschwindigkeit, und dieser Doppelbewegung muß sich die Form der Schraube anpassen. Der geradlinig gedachte Arm der Schraube beschreibt hierbei die gewöhnliche Schraubenfläche, welche entsteht, indem der senkrecht auf der Schraubenachse stehende Arm, die sogenannte Erzeugende, auf derselben gleichförmig vorrückt und sich dabei, ähnlich einem Uhrzeiger, gleichförmig dreht. Die gewöhnlichen Schraubenflügel sind Nachbildungen von Teilen einer solchen Fläche. Wäre die Luft ein nicht nachgiebiges Medium, so müßten die ausgeführten Schraubenflächen dieser Bewegungsfläche genau entsprechen. Da aber die Luft leicht ausweicht, so müssen die Flächen mit einem gewissen Stoßwinkel gegen die Luft drücken, wodurch erst ein Widerstand entsteht. In der Abbildung 27 ist AD die Bewegungsgeschwindigkeit des Fahrzeuges, AC die Umlaufsgeschwindigkeit der Flügelspitze, die Strahlen von D über 1, 2, 3, 4 und C sind die Bewegungsrichtungen der in D befindlichen Erzeugenden, welche senkrecht zur Zeichenebene steht. Die Profile der Schraube müssen etwas steiler stehen, und dies wird dadurch erzielt, daß man die Verlängerungen der Profile die Achse AD in einem weiter unten gelegenen Punkt B schneiden läßt, so daß AB > AD. Die wirkliche Schraube entspricht dann einer schnelleren Vorrückung der Erzeugenden als die durch die Bewegungsrichtungen gebildete Schraubenfläche.

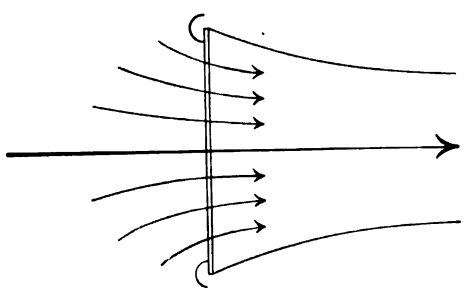


Abbildung 26. Strömungsbild der idealen Luftschraube.

Die Linie AC bedeutet hier die Umfangsgeschwindigkeit der Flügelspitze. Sie kann aber auch als Maß für die Flügellänge betrachtet werden, wenn der Maßstab entsprechend gewählt ist, und dann hat man in den (in der Abbildung stark ausgezogenen) Teilen der Strahlen von B über 1, 2, 3, 4 und C die Schräglage der Profile der Schraube. Der spitze Winkel der Bewegungsstrahlen zu den Profilen ist der scheinbare Stoßwinkel; der wirkliche Stoßwinkel ist infolge der Zuströmungsgeschwindigkeit der Luft wesentlich kleiner.

Beim Entwurf der Schraube ist zunächst der Halbmesser den allgemeinen Umständen entsprechend zu wählen. Dann zeichnet man die Geschwindigkeiten AB,

AD, AC in entsprechendem Maßstab auf und findet dann, da der Halbmesser der Schraube bekannt ist, den Maßstab für die Schraube selbst. Um die Steigung s zu finden, d. i. das Maß der Vorrückung der Erzeugenden für eine Umdrehung, beachten wir, daß sich verhalten muß die Steigung zum Umfang der Schraube wie die Vorrückungsgeschwindigkeit AB zur Umfangsgeschwindigkeit AC,

$$s : 2r\pi = AB : AC, \text{ woraus } s = 2 . r\pi . \frac{AB}{AC}$$

Der Unterschied zwischen der Fahrgeschwindigkeit AD und der Vorrückungsgeschwindigkeit AB, welche der Schraubenkonstruktion zugrunde liegt (AB — AD), wird Slip, auch Schlüpfung der Schraube genannt.

Um die Höhe der Steigung zu finden, bestimmt man aus Formel 3 bei einer Zugschraube, bei einer Tragschraube aus Formel 1, die Durchflußgeschwindigkeit w der Luft im kleinsten Schraubenquerschnitt und setzt die Steigungsgeschwindigkeit $v + {}^1/_2 w$; die Steigung wird dann

$$s = 2 r \pi . \frac{v + {}^1/_2 w}{u}$$

wo u die Umfangsgeschwindigkeit der Schraube bedeutet. Dies gilt jedoch nur für gewölbte Profile; für ebene Profile muß die Steigung etwas größer genommen werden.

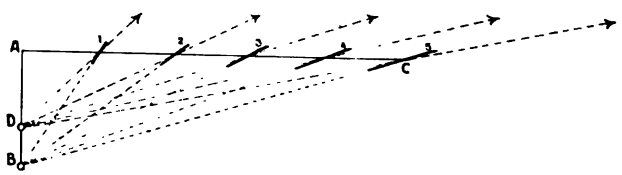


Abbildung 27. Steigungsdiagramm.

Die Form der Schraubenprofile wird gefunden, indem man einen zylindrischen Schnitt durch dieselben legt und die entstehende Figur in eine Ebene abgewickelt denkt. Bei der gewöhnlichen Schraubenfläche mit konstanter Steigung erhält man dann als Schnitt eine gerade Linie. Dies ist eine vielverbreitete Bauweise; dabei ist der scheinbare Luftstoßwinkel an der Nabe am größten und wird gegen die Spitze zu immer kleiner.

Man hat aber auch andere Flächen angewendet, insbesondere solche, bei denen der scheinbare Luftstoßwinkel konstant ist. Eine solche Schraube wird nach der Fläche der Bewegungsrichtungen mit konstanter Steigung konstruiert und sodann im ganzen um den beabsichtigten Stoßwinkel gedreht; dies ergibt für die einzelnen Profile eine von der Nabe gegen die Spitze hin zunehmende Steigung.

Andere haben eine gegen die Spitze zu abnehmende Steigung angewendet, um an der Spitze selbst keinen zu starken plötzlichen Druckabfall gegenüber der umgebenden Luft zu haben. Einen erheblichen Vorteil der Normalschraube gegenüber haben diese Konstruktionen nicht.

Der Durchmesser der Schraube ist in der Regel durch die Raumverhältnisse, bei Schrauben, welche direkt auf der Motorachse sitzen, durch die noch zulässige Umfangsgeschwindigkeit beschränkt, da bei großer Umfangsgeschwindigkeit die Zentrifugalkräfte die Betriebssicherheit beeinträchtigen und die Luftreibung den Effekt schädigt. Wird die Schraube nicht direkt vom Motor angetrieben, sondern mittels einer Übersetzung, so kann die Tourenzahl geringer gewählt und der Schraubendurchmesser größer genommen werden. Der Effekt wird dann besser; doch setzen hier das Gewicht der Schraube und der Übersetzung Grenzen. Im allgemeinen empfiehlt es sich jedoch nicht, bei Luftschrauben ängstlich an Gewicht zu sparen, da dies leicht eine schlechte Betriebssicherheit und eine mangelhafte Ausnutzung des Motors zur Folge hat.

Das Verhältnis der aktiven Schraubenfläche zum ganzen Schraubenkreis heißt die Besegelung der Schraube. Die Besegelung muß so groß genommen werden, daß der

erzeugte Luftstrom möglichst gleichförmig wird, ohne daß jedoch die Luftreibung die zulässige Größe überschreitet.

Die von den Schraubenflügeln in Bewegung gesetzte Luft verliert ihre Geschwindigkeit sehr rasch. Die Schraubenflügel müssen daher so dicht hintereinander folgen, daß die Ungleichförmigkeiten des Luftstroms nicht zu groß werden. Die Versuche haben ergeben, daß Schrauben bei 1200 Touren pro Minute etwa 8 % Besegelung brauchen, wobei zwei Flügel nötig sind. Bei 300 Touren kann man vier Flügel mit einer Besegelung von 25 % noch gut ausnutzen; über 25 % wird man selten gehen.

Dem Umriß der Schraubenblätter geben die Konstrukteure die verschiedensten Formen. Man findet Schrauben mit konstanter Tiefe, wobei die axiale Projektion des Blattes ein Kreisausschnitt ist, z. B. die sogenannte „klassische Schraube" Renards; außerdem finden sich rechteckige, trapezförmige und ovale Schraubenflügel, und zwar mit gutem Erfolg.

Am besten eignet sich wohl eine nach außen etwas breiter werdende Form des Blattes mit abgerundeten Ecken. An den Wasserschrauben macht man die Erfahrung, daß der spezifische Druck nicht durchweg bis zur Spitze ansteigt, sondern daß die Kurve des Druckes gegen die Spitze zu wieder abfällt; es empfiehlt sich daher, die größte Breite des Schraubenflügels in die Zone des höchsten Druckes zu legen. Wasserschrauben vertragen übrigens eine merklich größere Flügelfläche als Luftschrauben, weil die Wasserreibung relativ erheblich kleiner ist als die Luftreibung.

Sehr wichtig für den Effekt ist die Form der Profile. Die Stoßfläche wird eben oder schwach gewölbt gestaltet. Man hat gute Ergebnisse mit Wölbungen gehabt, deren Pfeilhöhen zwischen $^1/_{50}$ bis $^1/_6$ betrugen. Je kleiner der Stoßwinkel, um so flacher muß die Wölbung sein. Es ist ohne besonderen Nachteil, wenn das Blatt in der Nähe der Nabe ziemlich dick ist, doch muß die stärkste Verdickung in der Nähe der Vorderkante liegen, und die Dicke muß sich gegen die Spitze zu allmählich verlieren. Die Oberfläche der Schraube soll glatt sein, namentlich auf der Rückseite. Unebenheiten auf der Stoßseite sind von geringerem Einfluß, weil hier in dem Bereich des Überdruckes die Luft mit verminderter Geschwindigkeit fließt, während ihre Geschwindigkeit auf der Rückseite erhöht ist.

Abbildung 28. Holzluftschraube von Siemens-Schuckert.

Als Material der Schrauben dient Holz und Metall, namentlich Stahl- und Aluminiumbleche; auch werden stählerne Schraubengestelle mit Stoffüberzug verwendet.

Man unterscheidet Schrauben mit hoher Umdrehungszahl, sogenannte „Schnelläufer", welche direkt auf den Motorachsen sitzen, und Schrauben, welche mit Übersetzung arbeiten. Schnelläufer haben Tourenzahlen bis 1600 pro Minute, und es fragt sich dann, wie groß der Durchmesser genommen werden kann, ohne die Zentrifugalkräfte auf ein allzu gefährliches Maß anwachsen zu lassen; die Konstrukteure gehen bis zu einem Durchmesser von 2,6—2,8 m, was bei 1600 Touren eine Umfangsgeschwindigkeit von 217 m in der Sekunde ergibt. Hierbei ist die nötige Betriebssicherheit nicht mehr vorhanden. Außerdem muß ein hoher Luftreibungsverlust mit in den Kauf genommen werden.

Das beste Material für Schnelläufer ist Holz, das im Verhältnis zu seinem Gewicht eine hohe Zugfestigkeit besitzt und somit nicht nur den Zentrifugalkräften, sondern auch den Vibrationen des Motors besser widersteht als Metalle. Der Nachteil des Holzes ist das Schwinden und Verziehen, was den Effekt der Schraube merklich beeinträchtigen kann; auch ist ihm eine gewisse Unzuverlässigkeit eigen. Schnelläufer sind infolge der Kreiselwirkungen empfindlich gegen Stöße beim Anlaufen. Wenn der Apparat über ein Hindernis geht und plötzlich nach oben oder unten kippt, wenn auch nur wenig, werden die Schraubenflügel leicht beschädigt und können unerwartet auseinanderfliegen.

Abbildung 29. Metalluftschraube von Siemens-Schuckert.

Die Herstellung der Holzschrauben erfolgt meist in der Weise, daß eine Anzahl von flachen Leisten, welche in der Mitte durchbohrt sind, über die Schraubenachse geschoben und in entsprechend verdrehter Lage zusammen verleimt werden, so daß ein rohes Abbild der Schraube entsteht. Aus diesem wird die Form dann weiter herausgearbeitet. Oft werden Holzschrauben noch mit festem Webstoff überzogen, um ein Reißen des Holzes zu verhindern.

Eine Sonderstellung unter den Luftschrauben nimmt die Parsevalsche Schraube ein. Sie besteht aus einem festen zentralen Gestell von mindestens 1/4 des Schraubendurchmessers und den daran aufgehängten biegsamen Schraubenflügeln; letztere sind an ihrer Basis so aufgehängt, daß sie sich um die schräggestellte Basis als Achse drehen können. Sie werden durch Blattfedern in ihrer Betriebslage festgehalten, solange die Schraube nicht im Betriebe ist, und bestehen entweder aus einem mit starkem Stoff überzogenen beweglichen Stahlgestell oder aus dünnen Metallblechen mit verstärkter Vorderkante. Beim Betriebe stellen sie sich infolge der Zentrifugalkraft derart ein, daß sie von selbst die Schraubenform annehmen und in ihrer Lage ur Achse erhalten werden. Hier sind die biegenden Kräfte fast ganz ausgeschaltet, und der Flügel ist daher weit weniger empfindlich gegen Stöße und Vibrationen. Die Schraubenflügel sind außerdem um ihre Längsachse drehbar und können während des Betriebes von Hand verstellt werden, wie die Flügel einer Bootsschraube, wobei sie selbsttätig auch ihre Verwindung ändern. Man kann daher diese Schrauben der jeweiligen Leistung des Motors anpassen; auch kann man sie durch Drehen um die Längsachse auf Rückwärtsgang einstellen. Hierdurch eignen sie sich besonders für den Betrieb mit wechselnden Motorkräften, da man die Schraube in ziemlich weiten Grenzen so einstellen kann, daß der Motor auch dann, wenn sein Drehungsmoment nachläßt, seine günstigste Tourenzahl erreicht.

Die Versuchsergebnisse mit ausgeführten Luftschrauben beziehen sich vorwiegend auf Standversuche. Hierbei findet sich für starre Schrauben der Axialschub der Schraube proportional dem Quadrat der Umdrehungszahl. Versuche von Renard ergaben für seine beste Schraube:

$$\text{für den Axialschub } P = 0{\cdot}026\, n^2 D^4$$

$$\text{für den Arbeitsverbrauch } A = 0{\cdot}01521\, n^3 D^5$$

worin n = Umdrehungszahl/Sek., D den äußeren Durchmesser/m bedeuten.

Abbild. 30. Parsevalschraube außer Betrieb.

Man hat nun den Axialschub P_1 der idealen Schraube (s. Formel 1) mit dem wirklich erreichten Axialschub P verglichen und den Quotienten $\zeta = \frac{P}{P_1}$ den Gütegrad der Schraube genannt. Er gibt an, um wievielmal der wirklich erreichte Schub kleiner ist als das nach der Theorie erreichbare Maximum. Nach der Formel Renards hatte seine beste Schraube den Wert $\zeta = 0{\cdot}734$. Außerdem hat namentlich Bendemann im Auftrage der Jubiläumsstiftung der Deutschen Industrie eine große Anzahl von Standversuchen ausgeführt, die sich namentlich auf die Prüfung von Schrauben verschiedener Profile und verschiedener Steigungen erstreckten. Es wurden nur zweiflügelige Schrauben untersucht. Im Grundriß linealförmige Flügel mit ebener Unterfläche und gewölbter Oberfläche erwiesen sich als die wirksamsten bei einem Stoßwinkel von 6^0; hier war $\zeta = 0{\cdot}745$, jedoch sind hierbei große Umfangsgeschwindigkeiten erforderlich.

Bemerkenswert hohe Gütegrade wurden bei dem nationalen Wettbewerb für Luftschrauben im Jahre 1909 erzielt. Derselbe war auf Schrauben von konstanter Steigung beschränkt, und zwar waren Mindestschubkräfte von 300 kg bei Schrauben von nicht über 5 m Durchmesser und von 150 kg bei Schrauben von nicht über 3 m Durchmesser gefordert. Hierbei zeigte sich, daß die Zugkraft einer Schraube berechnet werden kann aus dem vom Motor ausgeübten Drehungsmoment M und der Steigung der Schraube s. Es ergibt folgende Beziehungen: $P = \frac{2\pi}{s} . M$. Es zeigt sich auch hier, daß eine genügende Raumausnutzung mit schmalen Schraubenflügeln erzielt wird. So hatte z. B. Rettig bei einem Durchmesser von 5 m und einer Steigung von 4 m vier Flügel von einer konstanten Breite von 400 mm, von denen die Stoßseite wenig, die Saugseite stark gewölbt war. Ihre Zugkraft war gegeben durch die Formel: $P = 75{\cdot}0 \left(\frac{100}{n}\right)^2$; hierbei betrug die Arbeitsleistung $A = 6{\cdot}78 \left(\frac{n}{100}\right)^3$ in Pferdekräften, wobei n die Zahl der Umdrehungen pro Minute bedeutet. Beispielsweise ergibt sich für 221 Touren ein Axialdruck von 367 kg und eine Arbeitsleistung von 73 1/2 P. S. Ihr Gütegrad berechnet sich auf 0·695. In Verbindung mit einem Flugmotor müßte eine solche Schraube im Verhältnis 5 : 1 untersetzt sein. Dadurch ist sie für Flugmaschinen nicht

Abbildung 31. Unstarre Schraube (Parseval) im Betriebe.

verwendbar. Eine schnellaufende Schraube muß eine geringere Steigung haben und findet auch mit einer geringeren Flügelfläche das Auslangen.

Über den Wirkungsgrad von Triebschrauben mit größeren Geschwindigkeiten liegen nur wenige Versuche vor. Man hat zu diesem Zweck die Schrauben auf einen Eisenbahnwagen montiert; so z. B. auf der Internationalen Ausstellung für Luftschiffahrt in Frankfurt a. M. (siehe Denkschrift derselben Band II bei Julius Springer-Berlin).

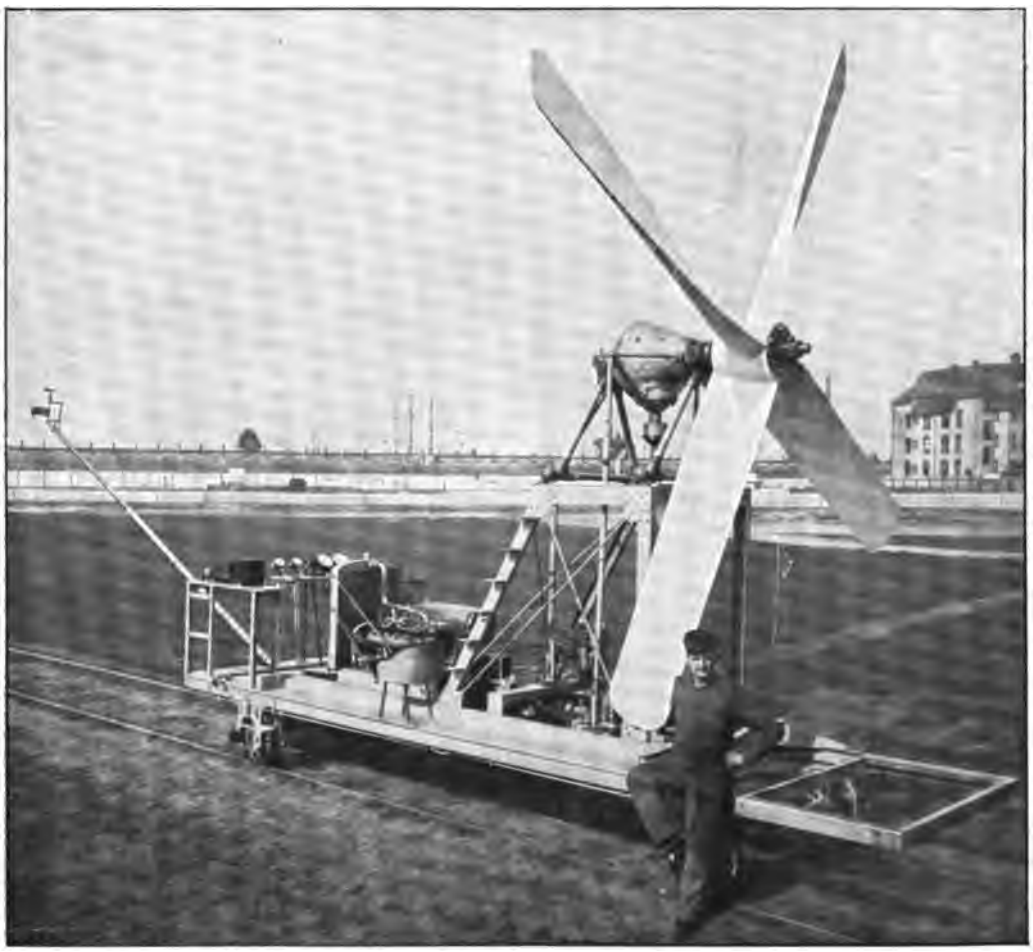


Abbildung 32. Schraube Rettig.
(Aus „IIa-Denkschrift" Bd. II, Abbildung 54. Verlag von Julius Springer, Berlin.)

Der Antrieb erfolgt hierbei durch einen Benzinmotor oder, wie bei den Versuchen der Firma Siemens-Schuckert, durch einen Elektromotor. Die Einrichtungen waren hierbei so getroffen, daß gleichzeitig die Geschwindigkeit des Wagens, der axiale Schub der Schraube und die auf die Schraube übertragene Arbeitsleistung des Motors gemessen wurden. Hierbei wurden unter günstigen Verhältnissen (große Fahrgeschwindigkeit und mittlere Beanspruchung der Schraube) Wirkungsgrade bis gegen 80 % erreicht. Bei Motorluftschiffen wird ein Wirkungsgrad von 60 % nicht leicht überschritten. Bei Flugzeugen ist der Wirkungsgrad höher, weil hier erheblich größere Fahrgeschwindigkeiten erreicht werden.

4. MOTOREN

Der Kraftbedarf der Luftfahrzeuge ist erheblich höher als der aller anderen Verkehrsmittel. Die Dampfmaschine mit ihrer Kesselanlage, ihren umfangreichen Kondensatoren, ihrem hohen Verbrauch an Brennmaterial war von vornherein viel zu schwer; erst nachdem in der Automobilindustrie der Benzinmotor ausgebildet war, konnte man mit einiger Aussicht auf Erfolg an die Lösung der Aufgabe herantreten.

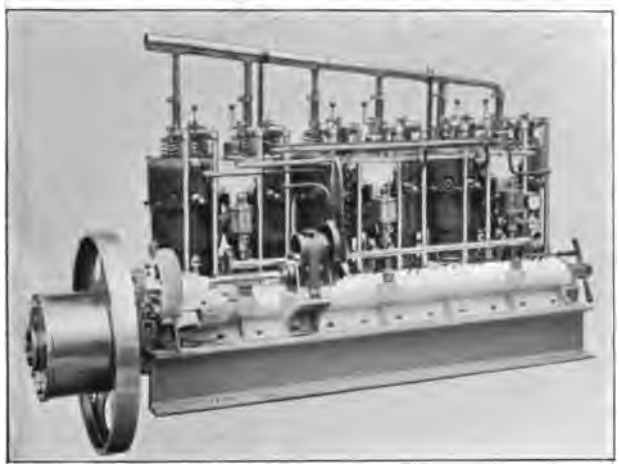


Abbildung 33. Luftschiffsmotor ca. 100 P.S. (Neue Automobilgesellschaft).

Stellt schon der Lenkballon hohe Anforderungen an die Motorkraft, so sind dieselben bei Flugzeugen noch höher geschraubt. Der Motor soll nicht nur sehr leicht und leistungsfähig sein, er soll auch bei dauernder Höchstbelastung vollkommen betriebssicher arbeiten und keiner Wartung während des Fluges bedürfen.

Eine weitere Anforderung ist ein möglichst erschütterungsfreier Gang, was bei dem leichten Bau der Fahrzeuge recht nötig ist. Zu diesem Zweck müssen die bewegten Teile des Motors so angeordnet werden, daß der Gesamtschwerpunkt während des Ganges seine Lage nicht ändert. Ein hin und her gehender Kolben z. B. muß durch die entgegengesetzte Bewegung eines zweiten gleichen Kolbens kompensiert sein. Man sagt dann: die Massen des Motors sind ausbalanciert. Noch wichtiger für die Erschütterungsfreiheit ist ein möglichst gleichförmiger Antrieb des Motors.

Meist werden die Benzinmotoren nach dem System des Viertaktes gebaut, wobei jeder Zylinder innerhalb von zwei Kurbelumdrehungen einen Impuls ausübt, der 1/2 Umdrehung lang dauert. Er arbeitet also nutzbringend nur während 1/4 der Zeit, und zu einem gleichmäßigen Antrieb gehören mindestens vier abwechselnd wirkende Zylinder, eine Anordnung, die beim Automobilbau schon allgemein üblich ist.

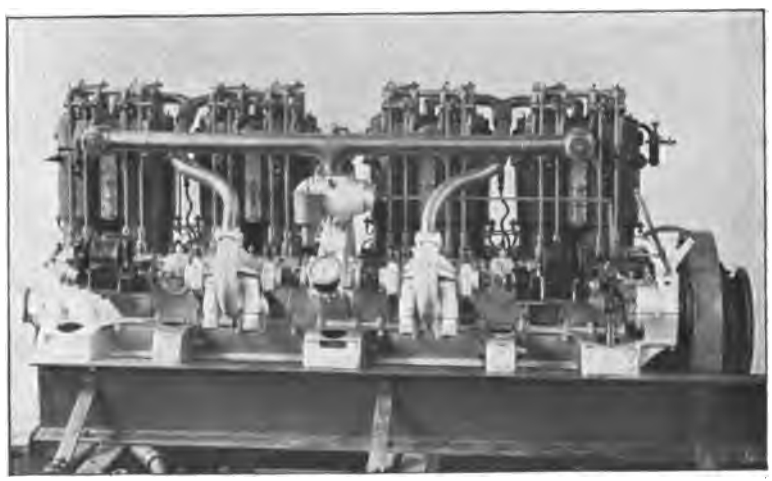


Abbildung 34. 240-P.S.-Ballonmotor der Daimler-Motoren-Gesellschaft.

Die Massenausbalancierung ist dabei gut, aber die Gleichförmigkeit des Antriebs nicht sonderlich befriedigend. Ruhiger und betriebssicherer laufen Sechszylindermotoren, die bei einer Umdrehung drei sich gegenseitig teilweise überdeckende Impulse geben.

Da die Leistung des Motors mit der Zahl der Explosionen wächst, hat man ihre Umdrehungszahl möglichst gesteigert, indem man die hin und her gehenden Teile auf alle Weise erleichterte und möglichst große Ventilquerschnitte wählte. Als „normal" gelten heutzutage 1100—1200 Umdrehungen pro Minute; doch gibt es Motoren mit 1600, ja mit 2000 Umdrehungen. Mit der Größe der Zylinder kann man dabei nicht über ein bestimmtes Maß hinaufgehen, da ein zu großer Zylinder nicht mit so viel Touren laufen kann wie ein kleiner; man ist also gezwungen, bei großen Leistungen, wie sie bei Motorluftschiffen gefordert werden, Motoren mit vielen Zylindern oder mehrere Motoren anzuwenden.

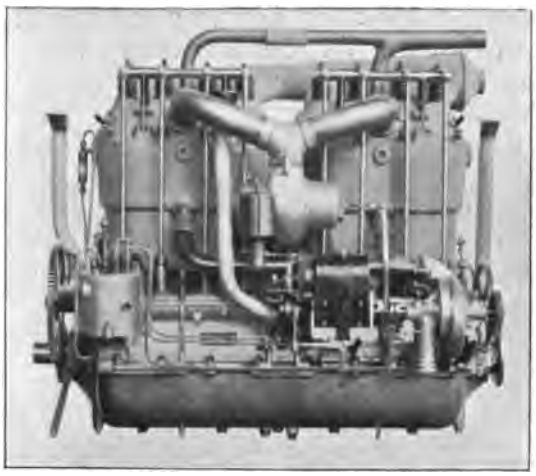


Abbildung 35. 125-P.S.-Fliegermotor der Daimler-Motoren-Gesellschaft.

Da die Motoren während der Fahrt ohne Wartung laufen müssen, so muß die Ölung sehr sorgfältig ausgebildet sein; alle reibenden Stellen müssen durch besondere Pumpen selbsttätig mit Schmiermaterial versorgt werden.

Abbildung 36. Argusmotor (Fliegermotor), vier Zylinder.

Am nächsten lag es, den in der Automobilindustrie benutzten wassergekühlten Vier- oder Sechszylindermotor so weit zu erleichtern, als es mit Rücksicht auf die Haltbarkeit möglich war, und man hat damit sehr schöne Erfolge erzielt. Solche Motoren, auch Reihenmotoren genannt, wiegen ca. 2 kg pro P. S. und stehen an Betriebssicherheit und Sparsamkeit des Brennstoffverbrauchs obenan.

Für Luftschiffe scheinen sie sich in etwas schwererer Ausführung als Sechszylindermotoren ausschließlich durchzusetzen. Abbildung 33 zeigt einen 100-P. S.-Luftschiffmotor der Neuen Automobilgesellschaft, Abbildung 34 einen 240-P. S.-Achtzylinderluftschiffmotor der Daimler-Motoren-Gesellschaft, Abbildung 35 einen 125-P. S.-Fliegermotor der nämlichen Firma, Abbildung 36 und 37 den in Deutschland vielbenutzten Argusmotor. Bei allen diesen sind die Kühlmäntel mit den Zylindern in einem Stück gegossen. Abbildung 38 zeigt einen Flugmotor der Neuen Automobilgesellschaft, bei welchem die Wassermäntel aus Kupfer-

blech auf den Zylindern aufgezogen sind. Man blieb jedoch hierbei nicht stehen, sondern versuchte das Gewicht des Motors noch mehr zu erleichtern, indem man mehr als zwei Zylinder auf einen Kurbelarm wirken ließ. Man ordnete zu diesem Zweck die Zylinder in Fächer- oder in Sternform an. Der erste fächerförmige Motor war der erste Daimlermotor überhaupt. In die Flugtechnik wurde er durch den Antoinettemotor eingeführt, bei welchem je zwei Zylinder, deren Achsen zueinander senkrecht stehen, auf einen Kurbelarm wirken. Je vier Zylinder stehen hintereinander, so daß ein Achtzylindermotor entsteht.

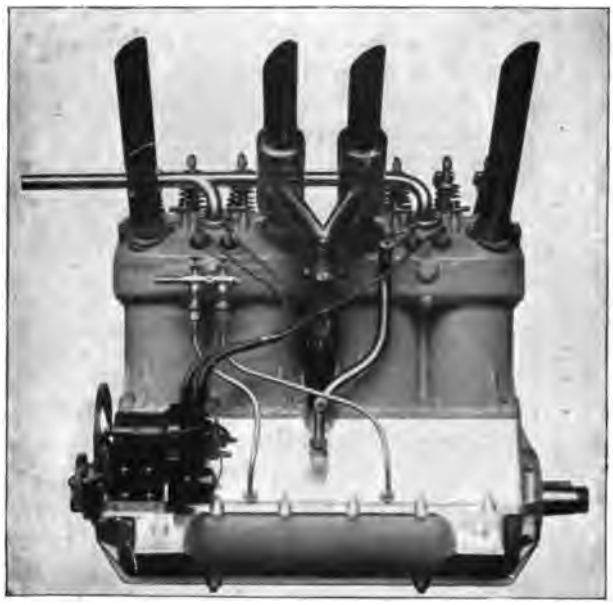


Abbildung 37. Flieger-Argusmotor Nr. 47, vier Zylinder.

Viel radikaler ist der sternförmige Motor, dessen hauptsächlichster Vertreter der Gnommotor ist. Die Zahl der Zylinder muß hierbei ungerade sein, um eine gleichförmige Folge der Impulse zu erzielen; bei einer geraden Zahl tritt nach jeder Umdrehung, wenn die eine Hälfte der Zylinder gearbeitet hat, ein unregelmäßiges Intervall ein. Nur ein Zylinder ist in üblicher Weise durch ein Lager mit dem Kurbelarm verbunden. Die übrigen sechs wirken auf Gelenke, welche sich in Ansätzen des Hauptlagerringes befinden (siehe Abbildung 39 und 40). Eine weitere Erleichterung wird noch dadurch erzielt, daß der Prozeß des gewöhnlichen Motors umgekehrt ist: nicht die Zylinder stehen fest und der Kurbelarm dreht sich, sondern der Kurbelarm steht fest und der ganze Motor schwingt sich im Kreise herum. Man nennt solche Motoren „Umlaufmotoren".

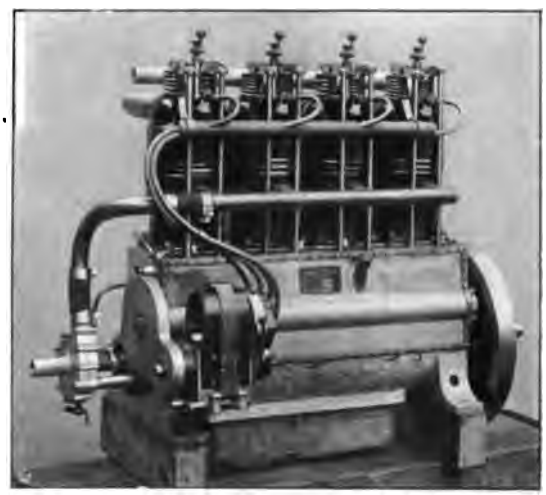


Abbildung 38. Fliegermotor der Neuen Automobilgesellschaft.

Die mit Kühlrippen ausgestatteten Zylinder werden durch die rasche Umlaufbewegung so kräftig ventiliert, daß eine genügende Luftkühlung hervorgerufen wird. Durch die Beseitigung der Wasserkühlung wird der Motor leichter und auch betriebssicherer.

Das explosible Gemisch tritt durch den hohlen Schaft des feststehenden Kurbelarms in das Kurbelgehäuse, von wo es durch Ansaugventile, die im Boden der Kolben sitzen, in die Zylinder gelangt. Der Motor wiegt wenig mehr als 1 kg pro P.S.; der Raumbedarf ist äußerst gering; die Betriebssicherheit wird gelobt. Seine Lebensdauer ist aber nur sehr

kurz und der Verbrauch an Betriebsmaterial hoch. Er muß mit Rizinusöl geschmiert werden.

Die große Schwungmasse ergibt einen regelmäßigen Gang und einen guten Effekt der Luftschraube; doch hat sie auch gewisse Nachteile im Gefolge: die Kreiselwirkung macht sich störend bemerkbar.

Abbildung 39. 50-P.S.-Gnommotor.

Sei z. B. ein Umlaufmotor am vorderen Ende eines Flugzeuges angebracht und habe, von hinten gesehen, den Drehungssinn des Uhrzeigers. Nun wendet der Führer nach links. Dann leistet die Kreiselwirkung diesem Impuls Widerstand, gleichzeitig tritt eine kippende Drehung senkrecht dazu auf, welche das Vorderteil des Flugzeuges hebt. Bei der Rechtswendung wird umgekehrt das Vorderteil nach unten gedrückt. Diesen Nebenbewegungen muß der Führer mit dem Höhensteuer Widerstand leisten, um die Kurven zu nehmen. Die Kreiselwirkung ist allerdings bei allen Motoren und auch bei jeder Luftschraube vorhanden; beim Umlaufmotor, der fast stets auch die Luftschraube direkt trägt, tritt sie aber am meisten hervor.

Der Gnommotor ist nicht der einzige Umlaufmotor, doch haben die anderen, trotz teilweise recht geistreicher kinematischer Anordnungen, bis jetzt auf dem Markte keine größere Bedeutung erlangt.

Unter den luftgekühlten Motoren sind noch zwei Formen von einiger praktischer Bedeutung, welche an stehenden Zylindern einen starken kühlenden Luftstrom vorbeiführen.

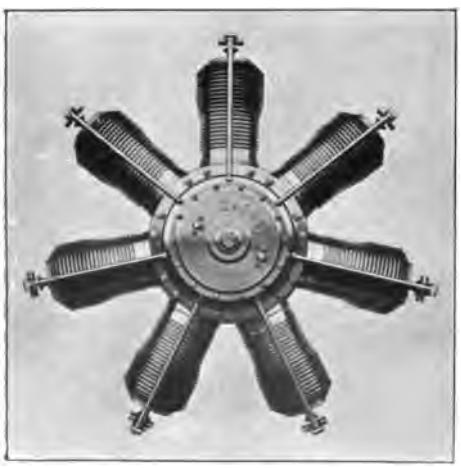


Abbildung 40. 50-P.S.-Gnommotor.

1. Der Fächermotor von Robert Esnault-Pelterie.

Derselbe ist aus dem Sternmotor abgeleitet, arbeitet aber mit feststehenden Zylindern. Die untere Hälfte eines Fünfzylindersternmotors ist nach oben geklappt, so daß zwei Fächermotoren hintereinander stehen, die auf eine Kurbelachse mit zwei 180° gegeneinander verdrehten Kröpfungen wirken.

Die Kühlung erfolgt durch den Fahrtwind; die Zylinder haben Kühlrippen. Die Motoren müssen also stets vorn, dicht hinter der Luftschraube, angeordnet werden.

2. Eine besonders in Frankreich verbreitete Konstruktion ist der Renaultmotor, ein Motor in V-Form mit Luftkühlung. Die Zylinder sind eingekapselt, ein Ventilator treibt einen kräftigen Luftstrom an ihnen vorbei (Abbildung 41 und 42).

Die Zahl sonstiger Versuche mit absonderlichen Anordnungen ist ziemlich bedeutend, ohne daß jedoch diese Konstruktionen eine größere Verbreitung gefunden hätten.

5. TRAGGASE

Die Steigkraft des Ballons beruht auf dem Auftrieb spezifisch leichter Gase. Technisch kommen in Betracht:

1. „Wasserstoff" für alle Ballons, bei denen hohe Steigkraft bei möglichst geringem Volumen nötig ist, d. i. bei allen lenkbaren Ballons, bei militärischen Fesselballons und in Ausnahmefällen, wo billiger Wasserstoff vorhanden ist, bei Kugelballons.

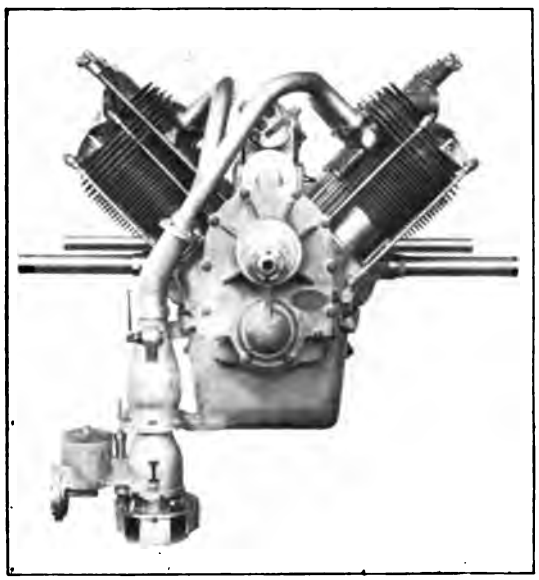


Abbildung 41. Renaultmotor.

2. „Leuchtgas" für Kugelballons wegen seiner leichten Erhältlichkeit und Billigkeit.

Erhitzte Luft ist billig, aber zu wenig tragkräftig.

WASSERSTOFF. Wasserstoff, Hydrogenium = H, findet als Traggas für Lenkballons wegen seines geringen spezifischen Gewichts ausschließlich Verwendung. 1 cbm Wasserstoff wiegt bei 0° C und 760 mm Druck unter dem 45. Breitengrade im Meeresniveau 89,95 g. Er ist 14,5 mal leichter als Luft.

Wasserstoff ist farblos, geruchlos, geschmacklos und sehr leicht entzündbar (an der Luft schon bei 552° C), unterhält aber die Verbrennung für sich allein nicht. Sehr feuergefährlich ist altes Ballongas, das sich durch Diffusion schon stark mit Luft vermischt hat; es verbrennt, je nachdem es mehr oder weniger mit Luft vermischt ist, schneller oder langsamer, im Verhältnis 2 : 1 mit Sauerstoff gemengt verbrennt es explosionsartig und entwickelt dabei große Wärme; 1 g H erzeugt bei der Verbrennung 34,46 Wärmeeinheiten. Ausnutzung dieser Wärme findet in der Technik statt bei dem autogenen Schweißverfahren mittels Knallgasgebläses (H + O gemischt).

Der Auftrieb von 1 cbm reinem Wasserstoff ist bei 0° und 760 mm Druck gleich 1,203 kg; praktisch wird 1,18 kg erreicht.

Herstellung des Wasserstoffs in der Technik. Die drei Hauptgewinnungsarten lassen sich einteilen nach ihren jeweiligen Ausgangsprodukten in:

1. Herstellung aus Wasser; 2. Herstellung aus Metallen und Basen; 3. Herstellung aus Metallen und Säuren.

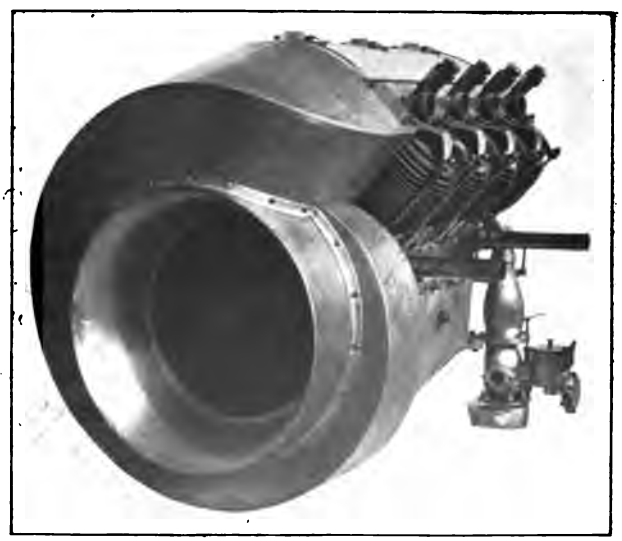


Abbildung 42. Renaultmotor.

1. Die Herstellung aus Wasser.

a) Durch Elektrolyse. Läßt man durch Wasser, das durch Zusatz einer Base oder Säure leitend gemacht worden ist (reines Wasser leitet nicht), einen elektrischen

Strom gehen, so zersetzt es sich in seine Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff nach der Formel

$$2H_2O = 2H_2 + O_2$$

Es entsteht also unter Verbrauch von Wasser am negativen Pol Wasserstoff, am positiven Pol Sauerstoff, dem Rauminhalt nach doppelt so viel Wasserstoff wie Sauerstoff.

Der Herstellungspreis von Wasserstoff auf elektrolytischem Wege stellt sich sehr teuer, sofern er nicht als Nebenprodukt in Frage kommt, wie z. B. in der Chemischen

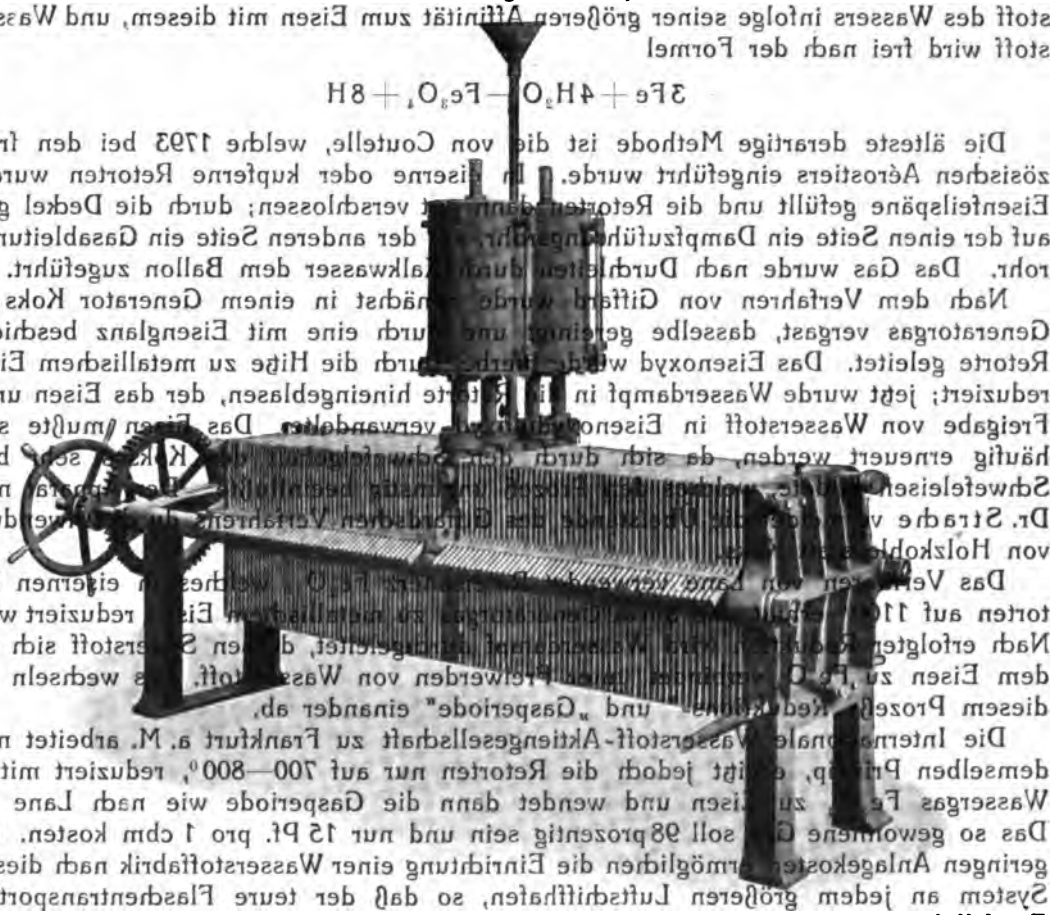


Abbildung 43. Elektrolytischer Wasserstofferzeuger (A. Riedinger, Augsburg).

Fabrik Elektron. Diese stellt aus einer Kochsalzlösung durch Elektrolyse Ätznatron und Chlor her, und es wird dabei gleichzeitig Wasserstoff frei nach der Formel

$$NaCl + H_2O = NaOH + Cl + H$$

Abbildung 43 zeigt einen elektrolytischen Wasserzersetzungsapparat von Dr. Oskar Schmidt in Zürich. Abbildung 44 zeigt ein Element desselben. Die plattenförmigen Elektroden bestehen aus Gußeisen; die Flüssigkeit ist eine schwache Pottaschelösung, da im Betrieb nur das zersetzte Wasser ergänzt zu werden braucht. Ein derartiger Apparat liefert 300 l Wasserstoff pro Stunde unter Beimischung von 1% Sauerstoff. Der Preis pro 1 cbm stellt sich auf 44 bis 46 Pf., je nach dem Preise der elektrischen Energie.

Der Transport des Wasserstoffs findet in Stahlbehältern statt, in welchen derselbe auf 150 atm verdichtet wird. Das Verfahren rührt von dem Engländer Lane her. Diese „Flaschen" genannten Behälter bestehen aus einem zähen Siemens-Martin-Stahl. Sie fassen ca. 5—6 cbm Gas und wiegen ca. 50 kg. Für fertig in Stahlflaschen gedrücktes Gas erhöht sich der Preis um 0,05—0,07 M. Der Transport ist ferner recht kostspielig.

b) Durch Leiten von Wasserdampf über glühendes Eisen.

Beim Leiten von Wasserdampf über glühendes Eisen verbindet sich der Sauerstoff des Wassers infolge seiner größeren Affinität zum Eisen mit diesem, und Wasserstoff wird frei nach der Formel

$$3Fe + 4H_2O - Fe_3O_4 + 8H$$

Die älteste derartige Methode ist die von Coutelle, welche 1793 bei den französischen Aérostiers eingeführt wurde. In eiserne oder kupferne Retorten wurden Eisenfeilspäne gefüllt und die Retorten dann gut verschlossen; durch die Deckel ging auf der einen Seite ein Dampfzuführungsrohr, auf der anderen Seite ein Gasableitungsrohr. Das Gas wurde nach Durchleiten durch Kalkwasser dem Ballon zugeführt.

Nach dem Verfahren von Giffard wurde zunächst in einem Generator Koks zu Generatorgas vergast, dasselbe gereinigt und durch eine mit Eisenglanz beschickte Retorte geleitet. Das Eisenoxyd wurde hierbei durch die Hitze zu metallischem Eisen reduziert; jetzt wurde Wasserdampf in die Retorte hineingeblasen, der das Eisen unter Freigabe von Wasserstoff in Eisenoxyduloxyd verwandelte. Das Eisen mußte sehr häufig erneuert werden, da sich durch den Schwefelgehalt des Kokses sehr bald Schwefeleisen bildete, welches den Prozeß ungünstig beeinflußte. Der Apparat nach Dr. Strache vermeidet die Übelstände des Giffardschen Verfahrens durch Anwendung von Holzkohle statt Koks.

Das Verfahren von Lane verwendet Roteisenerz Fe_2O_3, welches in eisernen Retorten auf 1100° erhitzt und durch Generatorgas zu metallischem Eisen reduziert wird. Nach erfolgter Reduktion wird Wasserdampf durchgeleitet, dessen Sauerstoff sich mit dem Eisen zu Fe_3O_4 verbindet unter Freiwerden von Wasserstoff. Es wechseln bei diesem Prozeß „Reduktions-" und „Gasperiode" einander ab.

Die Internationale Wasserstoff-Aktiengesellschaft zu Frankfurt a. M. arbeitet nach demselben Prinzip, erhitzt jedoch die Retorten nur auf 700—800°, reduziert mittels Wassergas Fe_2O_4 zu Eisen und wendet dann die Gasperiode wie nach Lane an. Das so gewonnene Gas soll 98prozentig sein und nur 15 Pf. pro 1 cbm kosten. Die geringen Anlagekosten ermöglichen die Einrichtung einer Wasserstoffabrik nach diesem System an jedem größeren Luftschiffhafen, so daß der teure Flaschentransport in Fortfall kommt.

Nach der Methode von Linde, Frank, Karo wird zunächst nach einem der obenerwähnten Verfahren Wassergas erzeugt; dasselbe enthält praktisch, sofern es bei 1200° Hitze erzeugt wurde,

50	Raumteile	Wasserstoff
42	„	Kohlenoxyd
4	„	Kohlensäure
4	„	Stickstoff

Diesem so gewonnenen Wassergas wird beim Leiten durch Natronkalk die Kohlensäure CO_2 entzogen; darauf wird es durch Abkühlung bis auf —195° und entsprechenden Druck in seine Bestandteile zerlegt; denn bei —195° verflüssigen sich Kohlenoxyd CO und Stickstoff N, während der Siedepunkt des Wasserstoffs bedeutend

tiefer, bei —252°, liegt. Es bleibt ein Wasserstoffgas übrig mit einer Reinheit von 99,5%. Das Kohlenoxydgas wird in einem Gasometer gesammelt und dient einem Gasmotor, der die ganze Anlage treibt, als Betriebsstoff. Auf diese Art hergestelltes Gas hat einen Auftrieb von 1195 g pro 1 cbm und kostet 10—15 Pf. pro cbm.

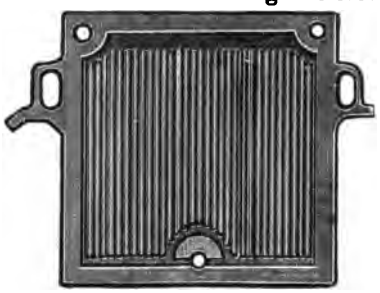


Abbildung 44. Element des elektrolytischen Wasserstofferzeugers auf S. 243.

2. Herstellung aus Metallen und Basen.

Hier sei eine Herstellungsart erwähnt, die von den Russen im Russisch-Japanischen Kriege zur Vermeidung des Rücktransportes leerer Gasflaschen angewandt wurde. Durch Einbringen von Aluminium in eine Natron- oder Kalilauge entsteht Natrium- bzw. Kaliumaluminat und Wasserstoff nach der Formel

$$Al + 3\,NaOH = Al(ONa)_3 + 3\,H \text{ oder}$$
$$Al + 3\,KOH = Al(OK)_3 + 3\,H$$

Die Kosten für die Herstellung von 1 cbm Gas beliefen sich auf 3 M.

3. Gewinnung aus Metallen und Säuren.

Gießt man auf Eisenfeilspäne im Verhältnis 1:4 verdünnte Schwefelsäure, so bildet sich unter Freiwerden von Wasserstoff Eisenvitriol nach der Formel

$$Fe + H_2SO_4 = FeSO_4 + 2\,H$$

Das so erzeugte Gas ist stark mit Säuredämpfen durchsetzt und wird in Skrubber geleitet, wo es diese Dämpfe an herabrieselndes Wasser abgibt. Aus dem Skrubber strömt es durch Trockenapparate, die mit hygroskopischen Substanzen, wie gebrannter Kalk oder Chlorkalzium, angefüllt sind. Etwa entstandener Schwefelwasserstoff wird zweckmäßig durch Überleiten des Wasserstoffs über Raseneisenerz entfernt. Die neueren Apparate, die nach diesem System arbeiten, haben eine stündliche Leistung von 100—150 cbm.

Als letzte Methode sei hier noch diejenige nach I. Machtolf erwähnt, nach welcher die Zeppelinluftschiffe in Friedrichshafen mit Gas versorgt werden.

Das Verfahren benutzt als Ausgangsprodukt Azetylen C_2H_2, das durch elektrische Entzündung und Explosion in seine Bestandteile Kohle und Wasserstoff zerlegt wird. Man erhält bei 1 cbm Wasserstoff etwa 1 kg äußerst feinen Ruß, der durch den bei der Explosion auftretenden Überdruck in einen besonderen Raum gedrückt und von dort aus direkt in Fässer gefüllt wird. Der erzeugte Wasserstoff ist sehr rein und enthält nur einige für Ballonfüllungen unwesentliche Beimischungen von Methan.

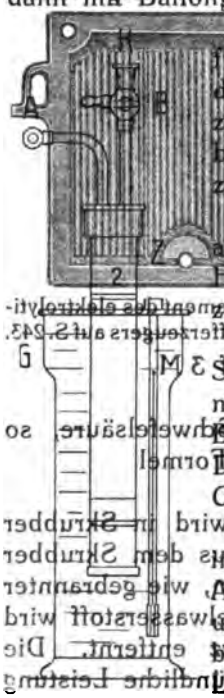
LEUCHTGAS. Dasselbe ist ein Gemisch von schweren Kohlenwasserstoffen, Grubengas, Wasserstoff, Kohlenoxyd, Stickstoff usw.

Sein spezifisches Gewicht beträgt 0·37—0·51. Bei der Erzeugung wird das leichteste Gas in der spätesten Zeitperiode der Destillation hervorgebracht. Dasselbe enthält bis 60 Vol.-Prozent Wasserstoffgas.

W. Oechelhäuser ist es gelungen, das gewöhnliche Leuchtgas wesentlich zu verbessern durch Zersetzung des Leuchtgases in besonderen Öfen. Die schweren Kohlenwasserstoffe werden gänzlich, das Methan fast ganz zersetzt. Das neue Gas hat 80 Vol.-Prozent Wasserstoff und ein spezifisches Gewicht 0·225. Der Auftrieb von gewöhnlichem Leuchtgas beträgt ca. 0·7 kg, der des Leichtgases 1 kg, der des Wasserstoffs 1·1—1·2 kg pro cbm.

Bestimmung des spezifischen Gewichts von Ballongasen. Die Ermittlung des spezifischen Gewichts von Wasserstoff geschieht vorzugsweise mit Gaswagen oder dem Schillingschen Apparat.

Die Gaswagen bestehen ausschließlich aus Glas gefertigten Ballonkörpern von bekanntem Volumen, dessen Gewicht auf einer empfindlichen Wage erst mit Luft, dann mit Ballongas gefüllt, gemessen wird.



Abbild. 45. Apparat zur Bestimmung des spezifischen Gewichts.

Die Luxsche Gaswage ist eine solche Balkenwage von hoher Empfindlichkeit; der eine Schenkel des Balkens läuft in eine Spitze aus, die auf eine Skala zeigt; der andere Schenkel trägt eine Glaskugel zur Aufnahme des Gases. Die Wage wird nun so austariert, daß bei Füllung der Glaskugel mit Luft der Zeiger auf die Nullstellung zu stehen kommt.

Nach Füllen des Glasbehälters mit Wasserstoff (wobei darauf zu achten ist, daß kein Rest Luft zurückbleibt) wird derselbe in die Höhe gehen, und die Spitze des rechten Wagebalkens zeigt das spezifische Gewicht an.

Abbildung 45 stellt einen Apparat zur Messung von Gasen nach Schilling dar. Die Arbeitsweise desselben beruht auf dem Zusammenhang zwischen Ausflußzeit und Dichte eines jeden Gases. Nach Bunsen sind die Quadrate der Ausflußzeiten zweier Gase bei gleichem Druck und gleicher Temperatur direkt proportional den spezifischen Gewichten $t_1^2 : t_2^2 = d_1 : d_2$.

Der Apparat besteht aus dem äußeren Glascylinder G und dem inneren, oben und unten mit Metallkappen versehenen Zylinder Z. An der oberen Kappe befindet sich das Ausströmungsrohr mit Hahn A und das Ausströmrohr mit dem Dreiwegehahn B. Unter der Kappe K befindet sich die Ausströmöffnung in Gestalt eines mit feinem Loch versehenen Platinblättchens. In den Behälter G ist noch ein Thermometer angeordnet zum Ablesen der Temperatur des ausströmenden Gases.

Zur Messung wird zunächst der Hahn B geschlossen und A geöffnet; demnächst der Zylinder Z mit Luft gefüllt, indem er langsam aus dem Wasser gezogen wird. Dann wird A geschlossen, B geöffnet, worauf der Zylinder Z langsam zurücksinkt, indem die Luft durch die feine Öffnung bei K ausströmt. Man beobachtet nun die Zeit, welche erforderlich ist, bis der in dem Zylinder emporsteigende Wasserspiegel den Raum von der Marke 1 bis zur Marke 2 zurücklegt, und erhält den Wert t_1. Dann wiederholt man die Operation mit dem Gas, wobei durch wiederholte Füllung und Entleerung des Zylinders Z dafür zu sorgen ist, daß durchaus keine Luft in dem Zylinder Z bleibt, und erhält die Zeit t_2. Das spezifische Gewicht des untersuchten Gases ist dann (bezogen auf Luft)

$$d_2 = \frac{t_2^2}{t_1^2}$$

der Spektralanalyse. Das Gasgemisch enthält 0·37—0·51. Bei der Erregung wird das leichtere Gas zuerst ausgeschieden, so daß die Dichte der Gasmischung in den verschiedenen Zeitabschnitten der Destillation verschieden ist. Das Gasgemisch enthält 10 Vol.-Prozent Wasserstoffgas.

6. DER KUGELBALLON.

Der von dem Franzosen Montgolfier im Jahre 1782 erfundene Kugelballon kam zuerst in der Schlacht bei Fleurus am 26. Juni 1794 zur praktischen militärischen Verwendung, wurde aber von Napoleon I. abgeschafft und blieb fast ein Jahrhundert lang unbeachtet, bis er bei der Belagerung von Paris 1870/71 wieder hervorgeholt wurde und den Franzosen erhebliche Dienste leistete. Dies hatte zur Folge, daß zuerst in Frankreich, dann auch in den anderen Staaten militärische Luftschiffabteilungen gebildet wurden, welche mit Kugelballons ausgerüstet waren. Etwa am Beginn der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts entwickelte sich nach und nach auch der

Ballonsport und nahm bald, zuerst in Frankreich, danach in den anderen europäischen Ländern einen lebhaften Aufschwung. Die Technik des Kugelballons kam dadurch bald zu einem gewissen Abschluß.

Das Prinzip des Kugelballons besteht darin, eine Quantität Gas, dessen spezifisches Gewicht kleiner ist als dasjenige der Luft, in eine leichte, luftdichte Hülle einzuschließen. Sei γ das Gewicht eines Kubikmeters Luft und δ dasjenige des Gases, so ist der Gewichtsunterschied der Volumeneinheit $(\gamma - \delta)$, und nach dem archimedischen Prinzip besitzt diese Volumeneinheit eine Steigkraft, Auftrieb genannt, $a = (\gamma - \delta)$, und der Gesamtauftrieb einer Gasmasse V ist $A = a \,.\, V$. Nun ist das Gewicht, sowohl der Luft als des Ballongases, abhängig vom Druck, gemessen durch den Barometerstand b, und von der Temperatur bzw. t_2. Es ist nach bekannten physikalischen Formeln:

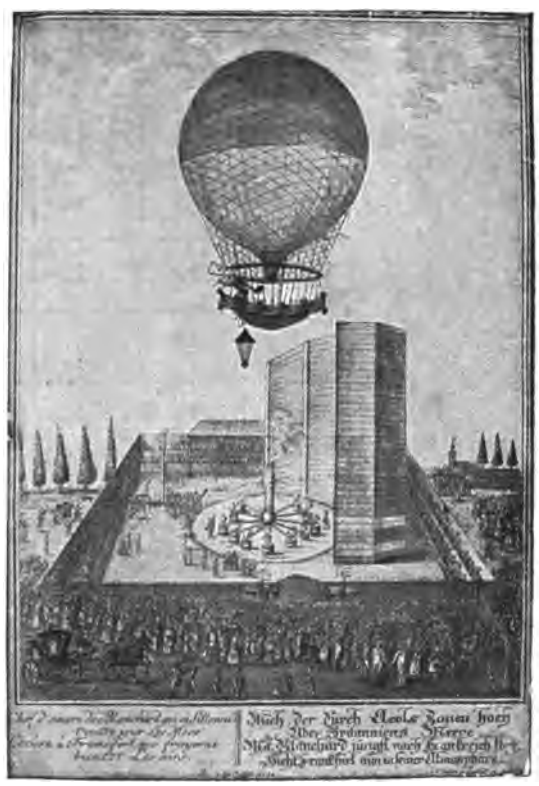
$$\gamma = \frac{273}{273 + t_1} \cdot \frac{b}{760} \cdot 1{\cdot}293$$

$$\delta = \frac{273}{273 + t_2} \cdot \frac{b}{760} \cdot s \cdot 1{\cdot}293$$

wo s eine Verhältniszahl bedeutet zwischen dem Gewicht des Ballongases und demjenigen der Luft bei gleichem Druck und gleicher Temperatur. Wenn letzteres zutrifft, was keineswegs immer der Fall ist, so ist $t_1 = t_2$, und wir haben als Formel für den Auftrieb des Gases:

$$A = V. \frac{273 \,.\, b}{(273 + t)\ 760} 1{\cdot}293\,(1 - s)$$

Als Traggas wurde zu Beginn der Luftschiffahrt erhitzte Luft verwendet. Diese Art der Ballons nennt man nach ihren Erfindern Montgolfieren (Abbildung 46); hierbei muß die Luft durch eine Heizanlage fortwährend auf ihrer hohen Temperatur erhalten werden. Aus Rücksicht auf die Haltbarkeit der Stoffe kann man jedoch die Temperatur der erhitzten Luft nicht über 100 ° steigern.



Abbild. 46. Montgolfiere (A. Riedinger, Augsburg).

Bei einer äußeren Temperatur von 10 ° und einem Barometerstand von 760 mm ist das spezifische Gewicht 0·76; der Auftrieb der auf 100 ° erhitzten Luft 0·294 kg pro Kubikmeter. Um 1 kg zu heben, braucht man daher mehr als $3^1/_2$ cbm. Erhitzte Luft ist daher nicht geeignet zur Hebung großer Lasten.

Sehr bald nach Erfindung der Luftballons ging man jedoch dazu über, ein Gas anzuwenden, das auch ohne Erwärmung leichter war als Luft. Man nannte solche Ballons nach ihrem Erfinder Charles „Charlièren", und zwar wandte man gleich anfangs das beste existierende Traggas an, den Wasserstoff, der kurz zuvor von Cavendish entdeckt worden war. Später trat wegen seiner Billigkeit und leichten Erhältlichkeit auch das Leuchtgas in die Reihe der viel angewandten Ballongase.

Barometerstand und Auftrieb
von Leuchtgas und Wasserstoff für Höhen bis 10000 m
bei einer Temperaturabnahme von $^1/_2{}^0$ auf 100 m.

Höhe in m	Temperatur	Mitteltemperatur der Luftsäule	Druck in Atmosphären	Barometerstand	Auftrieb in kg	
					Gutes Leuchtgas s = 0·45	Wasserstoff s = 0·07
0	15	15	1·000	760	0·675	1·140
500	12·5	13.75	0·942	716	0·643	1·086
1000	10	12·5	0·887	674	0·607	1·031
1500	7·5	11·25	0·835	633	0·578	0·978
2000	5	10	0·786	597	0·550	0·929
2500	2·5	8·75	0·739	562	0·521	0·882
3000	0	7·5	0·694	527	0·494	0·834
4000	— 5	5	0·612	465	0·443	0·747
5000	— 10	2·5	0·538	409	0·397	0·672
6000	— 15	0	0·472	359	0·355	0·600
7000	— 20	— 2·5	0·413	361	0·317	0·536
8000	— 25	— 5	0·361	276	0·283	0·479
9000	— 30	— 7·5	0·315	239	0·252	0·426
10000	— 35	— 10	0.274	208	0·223	0·378

Der Druck der Atmosphäre nimmt bekanntlich mit der Höhe ab, ebenso auch die Temperatur; beides beeinflußt sich gegenseitig. Der Druck der Atmosphäre ist verursacht von dem Gewicht der überlagernden Luftmassen. Da nun kältere Luft schwerer ist, so ist die Druckabnahme bei Kälte stärker als bei Wärme. Für die Temperaturabnahme der Luft mit der Höhe ist aber noch von wesentlichem Einfluß, daß die Luft beim Aufsteigen aus Zonen höheren in solche niederen Druckes sich ausdehnt und durch die hierbei stattfindende Arbeitsleistung abkühlt. Infolgedessen müßte sich die Lufttemperatur auf 100 m Höhe um 0·80 ° C senken. In der Praxis ist der Temperaturabfall oft geringer, selten stärker. Ein normaler Tempe-

raturabfall ist 0·5° auf 100 m. Nebenstehende Tabelle zeigt die Luftdrücke und Auftriebe von Leuchtgas und Wasserstoff bis zur Höhe von 10000 m. Der Luftdruck bestimmt sich nach der bekannten barometrischen Höhenformel

$$H_2 - H_1 = (18400 + 70\,tm) \log \left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

wo H_2 und H_1 die Höhen, P_2 und P_1 die zugehörigen Drucke und tm die mittlere Temperatur der Luftsäule bedeuten.

In einer größeren Menge Traggas üben sämtliche Gasteilchen durch ihr Bestreben, emporzusteigen, einen Druck auf die höherliegenden Teile aus, und es herrscht daher im Ballon ein höherer Druck als in der ihn umgebenden Atmosphäre. Der Druckunterschied ist am größten am obersten Teil der Gasmasse, ganz unten ist er Null und nimmt mit der Höhe gleichmäßig zu. Bei Wasserstoff beträgt dieser Druckunterschied auf jeden Meter ca. 1,1 kg bei normalen Verhältnissen in Seehöhe; bei einem Ballon von 14 m Durchmesser ist der Druckunterschied oben und unten ca. 15,4 kg auf den Quadratmeter. Diese Druckunterschiede zwischen der oberen und unteren Hälfte der Hülle bewirken die Steigkraft des Ballons.

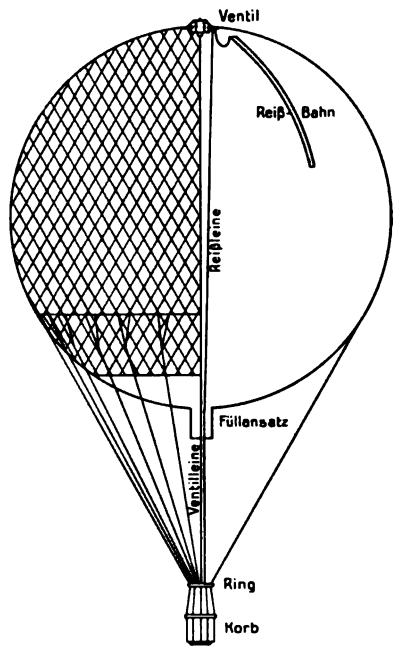


Abbildung 47. Freiballon.

Der wichtigste Teil des Ballons ist die Hülle, welche einen möglichst gasdichten Abschluß gegen die Atmosphäre bilden soll. Sie bleibt auf der Unterseite offen und besitzt hier einen Schlauch, durch welchen die Füllung bewirkt wird, den sogenannten Füllansatz oder Appendix. Als Material für die Hülle verwendet man meist Baumwolle, manchmal Seide. Die Webstoffe müssen in Schuß und Kette möglichst gleichmäßig und dicht hergestellt sein unter Vermeidung von Webefehlern.

Das älteste Dichtungsmittel, das noch heute, namentlich in Frankreich vielfach gebraucht wird, ist eingekochter Leinölfirnis. Die Ballons werden entweder ungefirnißt zusammengenäht und dann imprägniert, oder es wird der Firnis zuerst in den Stoff gewalzt, der Ballon nachher zusammengenäht und die Nähte noch einmal mit Firnis besonders gedichtet. Beim Trocknen des Firnisses verharzt dieser, indem er Sauerstoff aus der Luft aufnimmt, und bildet eine sehr dichte, glasige, aber wenig elastische Haut, welche die Ballonstoffe brüchig macht. Die Prozedur des Trocknens ist von der Feuchtigkeit der Luft abhängig und dauert unter Umständen monatelang. Firnisballons vertragen das Verpacktliegen schlecht und können dabei infolge Zusammenklebens und des Auftretens chemischer Prozesse unter Wärmeentwicklung vollkommen verderben. Mindestens verlieren sie durch das Verpacken viel von ihrer Dichtigkeit, die sich durch Nachfirnissen allerdings wieder verbessern läßt.

Das zweite, am meisten angewendete Dichtungsmittel ist der Kautschuk, welcher meist in Verbindung mit Baumwollstoffen angewendet wird, da Kautschuk mit Seide zusammen feuergefährliche elektrische Funken geben können, wenn sich z. B. beim Entleeren der Hülle die Stoffalten aneinander reiben. Solche Hüllen bestehen dem-

nach aus zwei oder mehr Lagen Baumwollstoff, zwischen denen eine dünne Kautschukhaut eingewalzt ist, welche die Dichtigkeit bewirkt und die beiden Stofflagen fest miteinander verbindet, so daß eine einheitliche Haut entsteht. Dabei können beide Stofflagen mit parallelen Fäden übereinandergewalzt sein (Parallelstoffe) oder so, daß die Fäden der einen diejenigen der anderen im Winkel von 45° kreuzen (Diagonalstoffe). Letztere Stoffart wird in Deutschland vorwiegend angewendet; in Frankreich sind Parallelstoffe beliebter.

Abbild. 48. Ballonkorb (A. Riedinger, Augsburg).

Die Prüfung der Festigkeit der Stoffe erfolgt entweder, wie üblich, auf einer Zerreißmaschine, bei welcher die Kraft ermittelt wird, die imstande ist, einen 5 cm breiten Stoffstreifen zu zerreißen, oder auf der sogenannten Zerplatzmaschine (Abbildung 49). Hierbei wird eine runde Stoffplatte als Deckel auf eine eiserne Trommel eingespannt und Druckluft in diese Trommel geleitet. Gemessen wird die Höhe der Durchwölbung und der zum Zerplatzen erforderliche Luftdruck und hieraus die Zugfestigkeit berechnet. Dabei erhält man auch Anhaltspunkte für die Dichtigkeit des Stoffes. Da der Stoff bei der Zerplatztrommel in ähnlicher Weise beansprucht wird wie in einem Ballon, sind deren Resultate maßgebender als diejenigen der Zerreißmaschine. Am besten ist es allerdings, sich kleine Ballonmodelle zu fertigen und diese mit Druckluft zu zersprengen, da nur hierdurch eine der Wirklichkeit entsprechende Beanspruchung der Stoffe erzielt wird, namentlich wenn es sich um nicht kugelförmige, längliche Ballonformen handelt, wie sie bei Luftschiffen vorkommen.

Der Vorzug der Kautschukstoffe besteht in ihrer Elastizität und ihrer hohen Festigkeit. Sie vertragen das Verpacken und eine gewaltsame Behandlung ohne großen Schaden; doch verliert der Kautschuk durch die atmosphärischen Einflüsse mit der Zeit seine Dichtigkeit. Auch verdirbt er bei langdauernder Lagerung. Er ist wesentlich teurer als der gefirnißte Stoff, dafür aber auch haltbarer. Bei den Wettfahrten der Kugelballons ist der erhoffte Vorteil des geringeren Gewichts neuer gefirnißter Stoffe nicht hervorgetreten, vielmehr erwiesen sich gummierte Ballons überlegen.

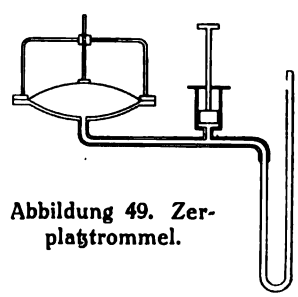


Abbildung 49. Zerplatztrommel.

Ein drittes, seiner Kostspieligkeit halber wenig gebrauchtes Material ist die Goldschlägerhaut. Diese besteht aus den feinen Innenhäuten der Gedärme von Tieren, die nur in kleinen Stücken gewonnen werden. Die Hülle wird aus vielen Tausenden solcher Stückchen in mehreren (bis zu sieben) Lagen zusammengeklebt. Das Material ist im englischen Heere gebräuchlich und wird sonst vielfach zu kleinen Spielzeugballons verwendet. Seine Dichtigkeit und seine Leichtigkeit sind hervorragend, doch ist es wenig solide.

Die Kugelballons (Abbildung 47) werden mit einem aus Hanfseilen angefertigten Netz umgeben, welches die zur Gondel führenden Auslaufleinen trägt, so daß die Hülle selbst entlastet wird. Die Auslaufleinen vereinigen sich in einem aus Holz oder Stahl gefertigten Ring, an dem die den Korb tragenden Leinen befestigt sind. Als Material der Ballonkörbe (Abbildung 48) dient Weidenholz und spanisches Rohr. Diese Stoffe haben sich den Stößen bei den Landungen durch ihre Elastizität und Zähigkeit am besten gewachsen gezeigt.

Abbildung 50. Ballonventil (A. Riedinger, Augsburg).

Um Gas auszulassen und das Fallen des Ballons zu bewirken, verwendet man Ventile (Abbildung 50), welche an dem höchsten Punkte des Ballons liegen und gleichzeitig als Befestigungspunkt für das Netz gebraucht werden. Die Formen der Ballonventile sind mannigfaltig; indessen haben nur das ältere Klappenventil und das Tellerventil eine weitere Verbreitung erlangt. Das Klappenventil ist meist in Form einer doppelten Klappe ausgeführt, deren gemeinschaftliche Achse durch die Mitte der kreisförmigen Öffnung geht; es wird durch Federn oder Kautschukbänder geschlossen gehalten. Die Tellerventile bestehen aus einem meist hölzernen Ring, der an die Hülle mit Schrauben festgeklemmt wird. Derselbe trägt die Dichtungsfläche, welche aus einer hohlliegenden ringförmigen Kautschukplatte besteht. Gegen diese preßt sich mit einer stumpfen Schneide der Ventilteller; starke Zugfedern ziehen diesen gegen seinen Sitz. Eine lange Leine, die sogenannte Ventilleine, welche den Ballon durchquert und beim Füllansatz unten heraustritt, ermöglicht es dem Führer, das Ventil zu öffnen.

Zur Landung bediente man sich früher eines eisernen Ankers. Derselbe ist jedoch seit ca. 20 Jahren außer Gebrauch gekommen wegen der heftigen, gefährlichen Stöße, die er verursacht, wenn er faßt. Er ist durch die Reißvorrichtung ersetzt. Diese besteht aus einem langen Schlitz in der Hülle, der an Freiballons mit Ballonstoff überklebt, an Lenkballons mit Parallelstoff geschlossen ist. Durch eine Leine kann der aufgeklebte Streifen losgerissen bzw. zerrissen werden. Hierdurch kann man der Hülle eine große Öffnung beibringen, wodurch sie in kürzester Frist entleert wird. Durch eine stählerne federnde Klinke wird die Reißleine vor unbeabsichtigtem Losgehen gesichert. Beim Gebrauch wird sie durch einen kräftigen Ruck aus der Sicherung gelöst, worauf das Reißen leicht vor sich geht.

Abbildung 51. Aspirationspsychrometer.

Jeder Kugelballon hat außerdem ein Schlepptau, das sich bei dem Niedergehen auf den Boden auflegt und ihn entlastet, so daß ein heftiger Aufstoß vermieden wird. Die Länge der Seile beträgt 50—80 m, ihr Gewicht 2—4 % des Bruttoauftriebs. Als Ballast dient feingesiebter trockener Sand in Säcken.

Bei einer Ballonfahrt wird aus dem Luftdruck auf die erreichte Höhe geschlossen. Zur Messung des Luftdrucks ist das Quecksilberbarometer im Ballon nicht recht brauchbar, weil es eine stabile Aufhängung verlangt. Man verwendet daher meistens Anaroidbarometer in bequemer Dosenform zum Ablesen, oder registrierende Barometer, sogenannte Barographen (Abbildung 52), wie sie in jedem Wetterhäuschen zu sehen sind. Meist begnügt man sich mit diesen Instrumenten, deren Genauigkeit allerdings nicht groß ist.

Eine gewisse Erleichterung der Führung bietet noch das Statoskop, welches schon ganz geringe Höhenänderungen anzeigt. Es besteht aus einem größeren, mit Luft

gefüllten Gefäß, welches durch einen Gummischlauch mit der Atmosphäre in Verbindung steht und mit einem sehr empfindlichen kleinen Manometer verbunden ist. Man schließt das Gefäß durch Zuhalten des Schlauches, und die Druckänderung beim Fallen und Steigen ist groß genug, um sofort einen Ausschlag hervorzubringen. Bei wissenschaftlichen Luftfahrten treten noch hinzu: Instrumente zur Messung der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit. Zur Beobachtung der Temperatur dienen Quecksilberthermometer, von denen gewöhnlich zwei zusammen vereinigt sind; sie sind durch eine vernickelte Hülle vor äußerer Wärmestrahlung geschützt und werden durch einen, von einem Uhrwerk bewegten kleinen Ventilator ständig von einem kräftigen Luftstrom umspült. Diese Einrichtung hat den Zweck, den Einfluß der äußeren Wärmestrahlung aufzuheben und so die wahre Lufttemperatur zu messen. Einer der Thermometer wird mit einem angefeuchteten Läppchen umgeben und zeigt infolge der Verdunstung eine niedrigere Temperatur wie der andere. Da die Verdunstung abhängig ist von der Feuchtigkeit der Luft, kann man aus dem Unterschied beider Thermometer die Luftfeuchtigkeit bestimmen. Dieses Standardinstrument der Temperaturmessung ist von Sigsfeld & Aßmann konstruiert und wird Aspirationspsychrometer (Abbildung 51) genannt.

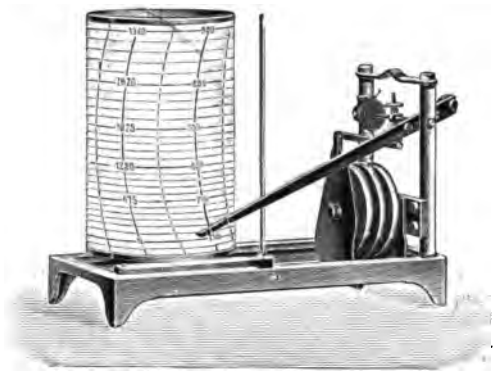


Abbildung 52. Barograph (J. & A. Bosch, Straßburg i. E.).

Für wissenschaftliche Hochfahrten hat Hergesell ein Instrument (Abbildung 53) geschaffen, bei welchem auf einer Trommel Luftdruck, Temperatur und Feuchtigkeit registriert werden. Die Temperatur wird durch die Längenänderung eines Rohres gemessen, die Feuchtigkeit durch ein Haarbündel, das sich, je nach der Luftfeuchtigkeit, dehnt oder zusammenzieht; beide sind durch einen Ventilator aspiriert. Der Luftdruck wird durch eine gekrümmte luftleere Röhre von linsenförmigem Querschnitt (Burdonrohr) gemessen, das sich mit Änderung des Luftdrucks mehr oder weniger krümmt.

Viel gebraucht in der Luftschiffahrt, namentlich bei den Vorbereitungen zu den Fahrten der lenkbaren Fahrzeuge, sind die Anemometer (Windmesser). Dieselben bestehen aus einem kleinen, sehr leicht drehbar gelagerten Windrädchen, das mit einem Zählwerk verbunden ist; aus den in der Zeiteinheit gemachten Umdrehungen wird auf die Windgeschwindigkeit geschlossen. — Eine von Hergesell angegebene Methode, die Windgeschwindigkeiten auch in höheren Regionen zu bestimmen, besteht darin, daß man einen kleinen (meist aus Kautschuk gefertigten) Ballon von genau ausgewogenem Auftrieb steigen läßt, dessen Steiggeschwindigkeit auf 2 m pro Sekunde bemessen ist. Man beobachtet die Dauer des Aufstiegs, die Winkelhöhe und die Himmelsrichtung des Piloten mittels eines Theodoliten. Aus diesen Elementen läßt sich die Flugbahn und Geschwindigkeit leicht bestimmen. Diese Methode

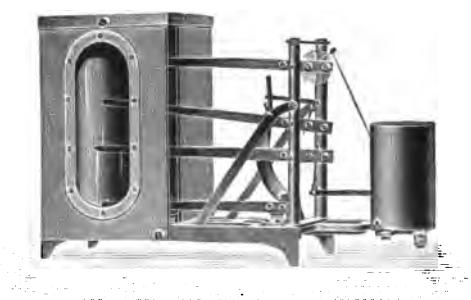


Abbildung 53. Registrierinstrument Hergesell (J. & A. Bosch, Straßburg i. E.).

leistet zur Beurteilung der Windverhältnisse in den von den Motorluftschiffen und Flugmaschinen befahrenen Höhen gute Dienste. Weit genauer sind die Resultate, wenn der kleine Ballon mittels zweier in größerem Abstand voneinander aufgestellten Theodoliten beobachtet wird. Doch ist das Verfahren zu kompliziert, als daß es häufig angewendet werden könnte.

7. DRACHEN, FESSEL-BALLON, FALLSCHIRM

Der aus Holz und Papier gefertigte Drachen, meist als Kinderspielzeug benutzt, an langer Schnur im Winde stehend, ist wohl das älteste Requisit der Luftfahrt. Von den orientalischen Völkern wurde er schon in grauer Vorzeit mit Vorliebe benutzt. Zu ernsthafter Bedeutung ist er neuerdings gelangt in der Meteorologie, wo man mit seiner Hilfe Registrierinstrumente zu großen Höhen emporhebt. Auch hat er bei der Konstruktion gewisser Flugzeuge als Vorbild gedient.

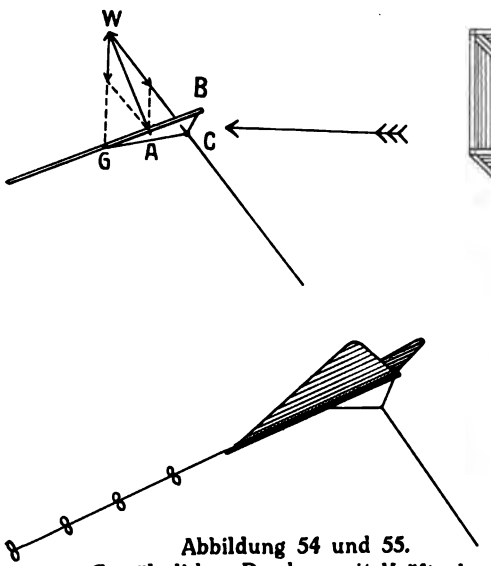


Abbildung 54 und 55.
Gewöhnlicher Drachen mit Kräfteplan.

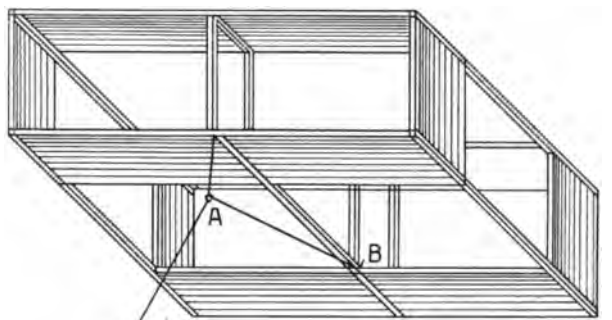


Abbildung 56. Hargravedrachen.

Er besteht im wesentlichen aus einer leichten Drachenfläche, die in geeigneter Weise durch einen langen Faden mit einem Punkt der Erdoberfläche fest verbunden ist. Die Aufhängung muß stabil sein, d. h. der Apparat muß sich im Winde von selbst in die richtige Lage stellen und auch bei stärkeren Störungen wieder dahin zurückkehren. Sei AB ein Schnitt der bei C gehaltenen Fläche, G der Schwerpunkt des Apparats AW nach Richtung und Größe der Luftwiderstand, so müssen sich die drei Kräfte Gewicht, Luftwiderstand und der Zug der Halteleine bei C oberhalb des Apparats in einem Punkte W schneiden, damit Gleichgewicht bestehen kann. In diesem Falle verteilt sich die Tragkraft W entsprechend auf das Gewicht und die Leine, der Drachen ist weit vorn gehalten und liegt durch sein Gewicht auf dem Winde. Bei stärkerem Winde stellt er sich von selbst flacher, so daß ein allzu starkes Ansteigen des Druckes verhindert wird, dabei treibt er mit dem Winde ab. Je mehr der Schwerpunkt nach vorn, der Fesselpunkt anderseits nach hinten verlegt wird, um so leichter überschlägt sich der Drachen, um so unruhiger ist sein Stand (Abbildung 54).

Der gewöhnliche Kinderdrachen hat einen mehr oder weniger langen Schweif, der durch sein Gewicht den Schwerpunkt nach hinten zieht und den Apparat außerdem in die Windrichtung einstellt. Genügend genau gemachte Drachen, die sogenannten Malaidrachen, fliegen jedoch auch ohne Schweif.

Zur Herbeiführung der seitlichen Stabilität gibt man den Drachenflächen eine leichte V-Stellung (Abbildung 55), oder man kombiniert vertikale mit den horizontalen Flächen.

Bei den Versuchen für den meteorologischen Dienst hat sich der Hargravedrachen (Abbildung 56) unter sehr vielen Formen am besten bewährt. Derselbe vereinigt eine hohe Stabilität mit einer guten Steigkraft und ist bequem in Serien anzufertigen. Er besteht aus zwei gleichen rechteckigen Zellen und ist weit vorn an der Kante gefesselt. Häufig wird der nach hinten laufende Teil des Zuges AB elastisch gemacht, um ein allzu rapides Ansteigen des Winddrucks und das Abreißen des Drahtes zu verhindern.

Zur Erreichung großer Höhen werden eine Anzahl von Drachen übereinandergehängt, um das Gewicht der Leinen zu tragen. Die letztere besteht bei Drachen meist aus Klaviersaitendraht, der auf besondere Kabeltrommeln aufgewickelt wird.

Auch größere Lasten, selbst Menschen, wurden von solchen Drachengespannen bereits in die Höhe gehoben. Der in 500 m Höhe über dem Boden so viel stärkere und gleichmäßigere Wind begünstigt wesentlich den Betrieb, wenn es erst gelungen

Abbildung 57. Drachenballon.

ist, den Spitzendrachen bis in jene Höhen emporzuschicken. Bei schwachem Winde ist es nötig, den Drachen gegen den Wind in Bewegung zu setzen. Auf dem Boden-see ist ein schnellaufendes Boot eingestellt, um bei mangelndem Bodenwind durch

Abbildung 58. Österreichische Feld-Luftschifferabteilung, Ballon- und Gaswagen.

rasche Fahrt die Drachen des meteorologischen Landesdienstes in die Höhe zu bringen.

Man hat die Drachen auch noch zu Vorversuchen von Flugmaschinen verwendet, indem man den Flugapparat als Drachen an langer Leine in die Höhe steigen ließ. Die Leine wurde dann gekappt und ein Schwebeflug abwärts gegen den Wind ausgeführt. Der Voisinapparat ist aus dem Zellendrachen von Hargrave hervorgegangen.

Der Drachenballon von Parseval und Sigsfeld (Abbildung 57 und 58) bildet eine Vereinigung von Drachen und Ballonwirkung. Er besteht aus einem länglichen zylindrischen Ballonkörper, welcher durch die Fesselung einerseits und durch die Lage der Gewichte anderseits in einer schrägen Stellung in der Luft gehalten ist, dergestalt, daß der Wind auf die lange Unterfläche des Körpers drückt, wodurch dieser zum Emporsteigen gezwungen wird. Um das Entstehen von Einbeulungen durch den Wind zu verhindern, hat der Ballon an seinem hinteren Ende ein Ballonet, d. h. einen im Inneren hängenden Luftsack, der durch einen von A. Riedinger angegebenen, gegen den Wind sich öffnenden, mit Rückschlagventil versehenen Windfang a von selbst sich füllt und durch ein Überdruckventil e wieder entleert. Um ein Platzen des Ballons beim Steigen in größere Höhen zu vermeiden, ist das Hauptventil f durch eine Leine mit dem am anderen Ende liegenden Luftsack verbunden. Füllt sich der Ballon mit Gas, so bläht sich dieser Sack nach außen, die Leine wird straff und öffnet das Ventil.

Da der Ballon starke Neigung hat, seitlich zu schleudern, so ist er an seinem hinteren Ende mit einem ringförmigen Luftsack b umgeben, welcher als Steuer wirkt (Abbildung 57).

Ferner besitzt er einen langen Schweif, bestehend aus Stoffkörpern c an zwei am Hinterteil befestigten Seilen, welcher Seitenschwankungen dämpft, und ist ferner mit zwei seitlichen Drachensegeln d ausgerüstet, welche die Stabilität des Ballons fördern und ihm eine sichere Stellung im Winde verleihen. Diese Ballons (Abbildung 60) werden bisher in Größen bis 1000 cbm von der Firma A. Riedinger in Augsburg gebaut und halten auch einem starken Winde stand.

Ihr Zweck ist, als Aufklärungsballons für militärische Zwecke zu dienen; ferner als Signalträger in den Größen von 100 cbm und noch kleiner als Träger von Antennen der drahtlosen Telegraphie.

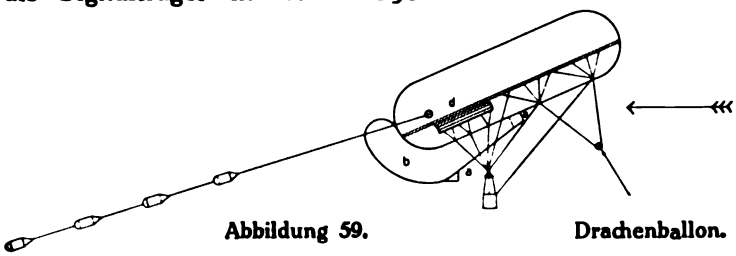


Abbildung 59. Drachenballon.

Für größere Fesselballons zu Schauzwecken wird meist die Kugelform gewählt. Die Konstruktion ist derjenigen des gewöhnlichen Freiballons gleich, jedoch muß auf besondere Festigkeit, wegen der Möglichkeit heftiger Windstöße, gesehen werden. Die Fesselung erfolgt am Ring. Um das Anstreifen des Kabels an den Korb zu verhindern, hat man verschiedene Konstruktionen versucht, jedoch ohne befriedigendes Ergebnis. Als Füllung wird vorwiegend Wasserstoff verwendet.

Das Hochlassen und Einziehen der Fesselballons erfolgt durch motorisch betriebene Kabelwinden, welche bei den Luftschifferabteilungen auf Wagen mitgeführt werden. Doch wird im Felddienst auch das Einholen von Hand angewendet. Dabei wird eine Laufrolle über das Kabel gelegt, welche mit Halteseilen für eine größere Anzahl von Leuten versehen ist; demnächst wird die Laufrolle mit Menschenkraft vom Fesselpunkt des Ballons aus das Kabel entlang gegen den Ballon gezogen, wodurch letzterer herabgeholt wird.

Als Kabel werden ausschließlich Seile aus sehr dünnen Gußstahldrähten verwendet, welche eine außerordentlich hohe Festigkeit bei geringer Dicke besitzen.

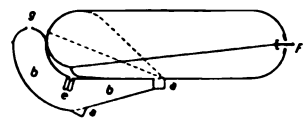
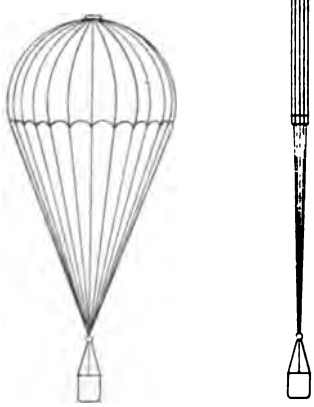


Abbildung 60. Längsschnitt des Drachenballons.

FALLSCHIRM. Der Fallschirm (Abbildung 61 und 62) ist zuerst von Leonardo da Vinci beschrieben. Er besteht aus kräftigem Stoff und hat zweckmäßig die Form eines Kugelsegments, das etwas größer ist als die Halbkugel, so daß die Halteseile tangential verlaufen. Gibt man dem Schirm eine andere Form, so strebt er unter dem Druck der Luft nebenstehende Gestalt anzunehmen, wenn man ihn nicht durch Versteifungen daran hindert.



Abbild. 61 u. 62. Fallschirm.

Die Fallgeschwindigkeiten sind nach Bräuler bei einer Belastung pro Quadratmeter von

1	2	4	8	10 kg
2·4	3·5	5·0	6·9	10 m.

Bei freiem Fall würden diese Geschwindigkeiten erreicht nach einer Fallhöhe von

0·3 0·6 0·8 2·4 5 m.

Man kann nun etwa 0·6 m hoch herabspringen, ohne den Stoß unangenehm zu empfinden. Hiernach wäre eine Fallgeschwindigkeit von 3·5 m und eine Belastung des Fallschirmquerschnitts von 2 kg pro Quadratmeter zulässig.

Ledieu berichtet über den gebräuchlichen französischen Fallschirm, daß auf 100 kg 80 qm Flächenmaterial gerechnet wird. Nun ist der größte Querschnitt wegen der Wölbung des Schirmes rund zweimal so groß als die Oberfläche. Die Belastung des Querschnitts beträgt daher 2·5 kg, der Durchmesser des aufgeblasenen Schirmes ist 7·1 m.

Der Schirm hat eine gefährliche Neigung zu seitlichen Schwankungen. Zur Verminderung derselben bringt man oben in der Mitte ein zweckmäßig von einem Holzreif eingefaßtes Loch von mindestens 40 cm Durchmesser an.

Die Schirme dienen dazu, sich aus größerer Höhe von der Gondel eines Ballons herabzulassen. Als Sicherheitsvorrichtung viel vorgeschlagen, aber nie benutzt, dienen sie vornehmlich für Schaustellungen von Akrobaten. Der Fall ist manchmal weit langsamer als der Berechnung entspricht, was wohl auf vertikale Luftströmungen zurückzuführen ist.

8. BAU DER LENKBAREN LUFTSCHIFFE

Das lenkbare Luftschiff (Lenkballon) besteht aus einem länglichen Gaskörper, der durch Luftschrauben vorwärtsgetrieben wird. Seine Form muß Tragfähigkeit mit geringem Luftwiderstand verbinden. In hohem Maße ist diese Forderung erfüllt durch eine Form mit nicht zu stumpfem eiförmigem Kopf und einem langen, in eleganter Spitze auslaufenden Hinterteil, am besten ohne zylindrisches Zwischenstück. Der größte Querschnitt liegt dabei näher der Spitze, und der Ballon paßt sich gut der Aufgabe an, vorn eine schwere Gondel und am hinteren Ende die ziemlich leichten Stabilisierungsflächen zu tragen.

Die Luftwiderstände sind gering, und man kann ohne Schaden in der Mitte große Durchmesser anwenden.

Wegen des Ballonwiderstandes siehe den Artikel Nr. 1: „Über den Luftwiderstand".

Eberhard gibt in „Theorie und Berechnung der Motorluftschiffe", Berlin 1912, den Fahrtwiderstand an als: $W = o \cdot F \cdot o^2$, wo F den größten Querschnitt des Ballons, o die Fahrtgeschwindigkeit in Meter bedeutet; o ist eine Konstante und hat je nach der Ballonform den Wert $\frac{1}{40} - \frac{1}{50}$.

Diese Formel gibt namentlich für große Geschwindigkeiten zu große Werte von W, da der Widerstand sich zusammensetzt aus dem Formwiderstand, welcher proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit geht, und den Reibungs- und Takelagewiderständen, die weit langsamer wachsen und einen sehr erheblichen Teil des Gesamtwiderstandes bilden.

Der Ballonkörper wird beim Betriebe gewissen Beanspruchungen unterworfen. Die daran aufgehängte Last sucht ihn krummzubiegen, indem die nicht direkt über der Last liegenden Teile in die Höhe streben. Der Fahrtwind sucht bei großer Geschwindigkeit Beulen in den Ballon zu drücken. Bei den Windstößen und bei Steuermanövern wird der längliche Körper auf Biegung beansprucht.

In der Art und Weise, wie den Tragkörpern die entsprechende Festigkeit gegeben wird, unterscheiden sich die verschiedenen Systeme.

Die einfachste Lösung hat Zeppelin gewählt (Abbildung 63); er gibt dem Ballon ein inneres Gerüst aus Stangen, welches dem Längskörper seine Steifigkeit sowie die äußere glatte Form sichert. Die Einzelheiten des Systems siehe unten.

Von den übrigen Systemen verstärken die meisten den Ballon durch einen zur Längsachse parallelen Gitterträger. Derselbe ist entweder mit dem Ballon an der Unterseite fest verbunden oder zwischen Ballon und Gondel freischwebend aufgehängt; oder die Gondel selbst ist so lang gebaut, daß sie dem Ballon als Versteifung dient.

Ein einziges System, der Parsevalballon, verzichtet auf diesen Träger und verwertet die Steifigkeit des mit gespanntem Gas aufgeblasenen Ballonkörpers allein.

In all diesen Fällen muß der Ballonkörper einen nicht unerheblichen Teil der Beanspruchungen aufnehmen, und man ist gezwungen, ihn bis zu einem gewissen Grade unter Druck zu halten, damit keine Falten und Knickungen auftreten. Hierzu dient der Luftsack in Verbindung mit einem Ventilator.

Die Luftsäcke im Inneren des Ballons, auch Ballonets genannt, sind im Normalzustand leer; wenn aber dem Ballon eine gewisse Menge Gas fehlt, kann mittels eines Ventilators eine so große Menge Luft eingeblasen werden, daß das fehlende Volumen ersetzt wird und das Ballongas außerdem eine gewisse Spannung erhält. Die Größe des Luftsacks bemißt sich nach der Gewichtsmenge, um welche das Schiff bei der Fahrt erleichtert werden kann (verfügbarer Ballast, Brennstoff usw.).

Ist B diese Menge, so wird es nötig, eine entsprechende Menge Gas auszulassen, um landen zu können. Ist a der Auftrieb eines Kubikmeters Gas, so ist das Volumen der auszulassenden Gasmenge $\left(\frac{B}{a}\right)$; so groß muß also der Luftsack mindestens sein. Dabei muß noch mit einer Abkühlung des verbleibenden Gases gerechnet werden; man nimmt gewöhnlich 20° Abkühlung an und macht den Luftsack dementsprechend größer.

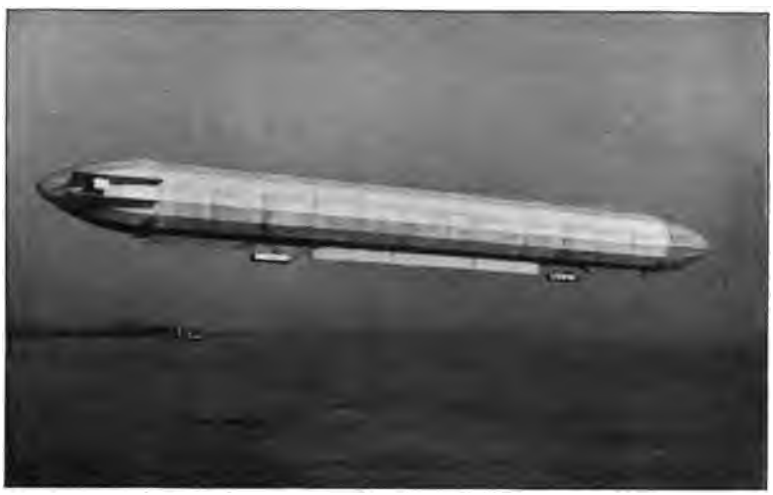


Abbildung 63. Zeppelinballon, ältere Ausführung.

Beispiel: Schiff in Meereshöhe von 10000 cbm Inhalt. Entlastung B = 3000 kg entsprechend einem Verlust von $\frac{3000}{1{\cdot}1}$ cbm Wasserstoff, verbleiben rund 7300 cbm Gas. Bei einer Abkühlung von 27° auf 7° verringert sich das Volumen desselben von 7300 auf 6800 cbm; demnach muß der Luftsack 10000 − 6800 = 3200, d. i. rund 1/3 des Volumens, ausgleichen.

Würde die ganze Gewichtsminderung zum Ersteigen großer Höhen benutzt, so könnte das Schiff eine Höhe von 3400 m erreichen. Beim Herabkommen aus dieser Höhe würde der Luftraum dann eben ausreichen, um den beim Aufstieg eingetretenen Gasverlust zu ersetzen.

Bei solchem Volumen genügt aber ein Luftsack nicht, da in einem so großen Raume die Luft so stark hin und her fluten kann, daß die Stabilität des Schiffes gefährdet würde. Man muß daher den Luftraum unterteilen und legt die Säcke in die Enden des Ballons, so daß sie nicht direkt über den Gondeln sind und dort wenigstens die Tragkraft des Ballons nicht geschwächt wird.

Der Druck der Luft in einem Luftsack ist gleich dem Druck des Gases an dem höchstliegenden Punkt, in dem sich Luft und Gas berühren, vermehrt um den Gewichtsdruck der Luftsäule und um den durch das Gewicht des Sackes selbst hervorgerufenen Druck (vorausgesetzt, daß der Sack nicht prall voll ist).

Die Luft hat also stets einen höheren Druck als das umliegende Gas und hat das Bestreben, sich am Boden des Sackes, wie Wasser in einem Gefäß, in die Tiefe

auszubreiten. Sind mehrere kommunizierende Luftsäcke vorhanden, so fließt die Luft in den untersten; daher müssen die Luftsäcke einzeln an den Ventilator angeschlossen sein, damit man sie nach Bedarf füllen und entleeren kann.

Die Regelung des Druckes im Ballon erfolgt durch Ventile, welche entweder von Hand bedient werden, wobei das Modell der Freiballons zur Verwendung kommt, oder automatisch. (Abbildung 64 und 64a.)

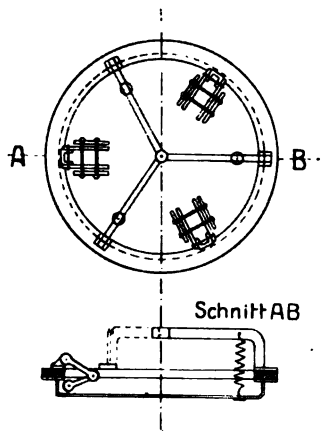


Abb. 64 u. 64a. Ballonventil.

Bezeichnet s die Steiggeschwindigkeit des Ballons, V dessen Volumen, so muß pro Sekunde eine Gasmenge austreten $= \frac{s.V}{8000}$ für $s = 2$ m, $V = 10000$ cbm gibt dies 2·5 cbm pro Sekunde. Die Ausströmgeschwindigkeit des Wasserstoffs bei 10 mm Überdruck (bei 0° und 760 mm Barometerstand) beträgt 47·3 m/sek.

Ventile, die nach innen aufschlagen, bedürfen eines rund 1·5 mal größeren Querschnitts als solche, die sich nach außen öffnen, weil sich bei einem nach innen öffnenden Ventil der Strahl hinter der Ausflußöffnung stark kontrahiert. Gasventilen an der Oberfläche eines Ballons von 10000 cbm gibt man einen Durchmesser von 500 mm. Ventile an der Unterkante des Ballons müssen größer sein, weil sie unten einen geringeren Ausflußdruck und ein im allgemeinen schwereres Gas haben. Die Erfahrung hat gelehrt, daß das spezifische Gewicht des Ballongases unten stets erheblich größer ist als oben.

Luftventile müssen $\sqrt{\frac{1}{0{\cdot}07}} = 3{\cdot}8$ mal größer sein als solche für reinen Wasserstoff. Die Geradführung der Ventile erfolgt meistens durch drei Kniehebel (siehe Abbildung 64).

Eberhard hat durch Anbringung der Federn an den Kniehebeln erreicht, daß die Ventile sich bei geringer Überschreitung des Öffnungsdruckes öffnen und offenbleiben, bis der Druck wieder gesunken ist.

Automatische Ventile finden sich beim Parsevalluftschiff. Sie werden durch eine Membran E betätigt, welche, wie das Hauptventil, an der dem Ventil gegenüber-

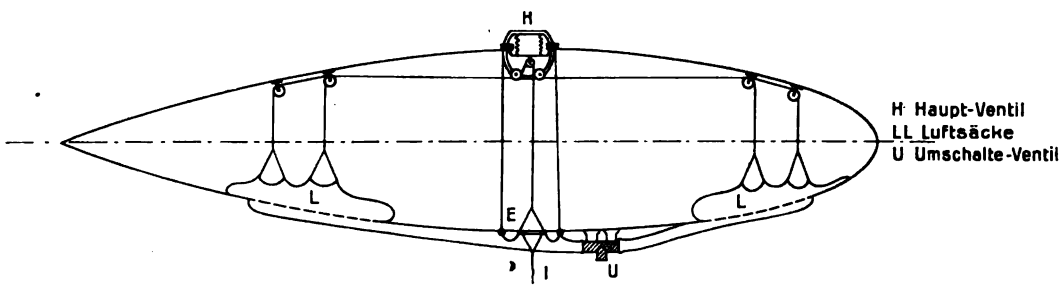


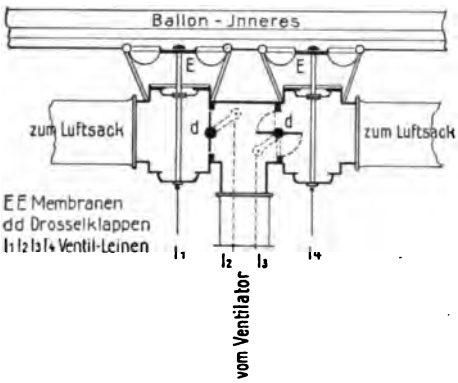
Abbildung 65a. Ventilanordnung eines Parseval-Luftschiffes.

liegenden Seite des Ballons angebracht ist, wobei gleichzeitig durch die Leine l eine Betätigung von Hand möglich ist.

Distanzleinen halten die Seiten des Ballons in stets gleicher Entfernung.

Abbildung 65b zeigt ein Umschaltventil der Parsevalballons, welches den Luftsäcken die Luft zuführt. Durch die Drosselklappen d d, welche durch Zug von Leinen

l_2 und l_3 geöffnet und durch Federkraft geschlossen werden, erfolgt der Einlaß. Der Auslaß erfolgt durch zwei Doppelsitzventile, welche durch besondere, an der Ballonwand liegende Membranen EE selbsttätig gesteuert und außerdem noch mittels der Leinen l_1 und l_4 von Hand betätigt werden können.



Abbild. 65b. Parsevalsches Umschaltventil.

Ein mit gespanntem Gas gefüllter Ballonkörper hat eine bestimmte Biegungs- und Druckfestigkeit. Die Zugorgane sind durch die Hülle gebildet, die Druckorgane durch die gespannte Gasmasse.

Ist F der Querschnitt des Ballons, so wird der Ballon durch den Innendruck p mit der Kraft $P = p \,.\, F$ auseinandergetrieben.

Ist z. B. $F = 150$ qm, $p = 30$ kg/qm, so ist

$$P = 150 \,.\, 30 = 4500 \text{ kg}.$$

Mit dieser Kraft muß der Ballon von beiden Enden her zusammengepreßt werden, wenn in der Mitte Falten entstehen sollten; dies ist die Druckfestigkeit des Ballons. Die Biegungsfestigkeit ist dadurch gegeben, daß an der Innenseite der Biegung keine Faltenbildung stattfinden darf.

Betrachten wir den Fall der Abbildung 66. Der Ballon ist in der Mitte belastet, die Spitzen streben durch ihren Auftrieb in die Höhe: so besteht an der Oberseite die Tendenz zur Faltenbildung; an der Unterseite wird der Stoff gespannt sein. Ist d der Durchmesser des Querschnitts, und ist der Druck p gleichmäßig über denselben verteilt, so ist die Biegungsfestigkeit $M = F \,.\, p \,.\, \frac{d}{2} \,.\, c$. c ist ein Faktor, der die Elastizität des Stoffes berücksichtigt und $^1/_2$ zu setzen ist. Wirken gleichzeitig Druck- und Biegungskräfte, so muß man beide Beanspruchungen summieren.

Die Beanspruchung eines regulär aufgehängten Ballonkörpers zeigen wir am Beispiel eines unstarren Parsevalballons (Abbildung 67). Derselbe kann in vier Teile zerlegt gedacht werden:

1. AB, durch die vertikalen Gondelseile direkt gehalten;
2. BD, frei überstehend, durch das schräge Seil 1 gehalten;
3. AC, durch das schräge Seil 5 gehalten;
4. EC, gerade groß genug, um die Steuerflächen zu tragen ohne äußeren Auftrieb.

Die Seile 1 und 5 müssen, damit Gleichgewicht besteht, ein gleiches aufwärtsgerichtetes Biegungsmoment der Ballonenden aufnehmen und daher bei gleichem Anlaufswinkel gleiche Spannung haben.

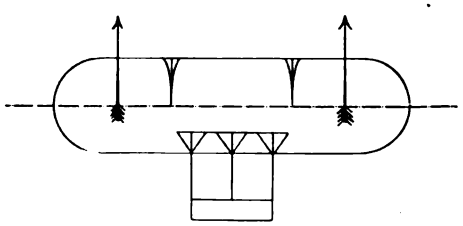


Abbildung 66. Biegung eines Langballons.

Das Gewicht der Gondel sei 8000 kg, die Tragkraft des Stückes $AB = 2000$ kg; außerdem gehe noch die Verlängerung der Seile 1 und 5 durch den Auftriebsmittelpunkt der frei ausragenden Ballonspitzen. Dann muß jedes schräge Seil einen Auftrieb von $A = \frac{8000 - 2000}{2} = 3000$ kg aufnehmen und übt bei einem Ablaufwinkel γ einen Längsdruck auf den Ballon gleich $A \,.\, \operatorname{tg} \gamma$.

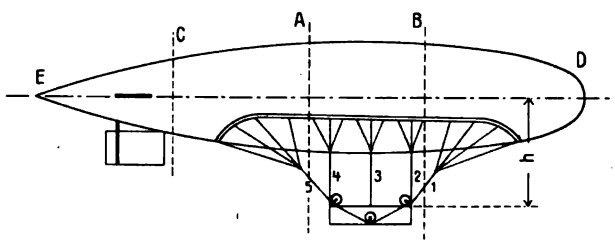
Man nimmt gewöhnlich $\gamma = 45^0$, $tg\gamma = 1$; es ist dann die horizontale Komponente des Seiles gleich der vertikalen $= 3000$ kg. Dies ist also der Druck, den der Ballon in seiner Längsrichtung erfährt, etwa in dem Querschnitt B. Dieser Druck ist immer gleich dem Biegungsmoment der überstehenden Spitze, dividiert durch den Abstand h der unteren Anheftungspunkte der Leinen 1 und 5, von der zur Achse parallelen Resultante der inneren Spannungskräfte des Gases, welche den Ballon in seiner Längsrichtung auseinandertreiben; er ist also abhängig von der Höhe der Gondelaufhängung. In der Praxis läßt man die schrägen Leinen nicht durch den Auftriebspunkt, sondern etwas weiter gegen die Ballonspitze zu anlaufen.

Sei der Durchmesser bei A und B = 16 m, was einem Querschnitt F von ca. 200 qm entspricht, so ist die notwendige Innenspannung p zur Aufnahme dieses Druckes

$$p \,.\, F = 3000 \text{ kg, woraus}$$

$$p = \frac{3000}{200} = 15 \text{ kg/qm.}$$

Da nun infolge des statischen Auftriebes in dem genannten Querschnitt ein mittlerer Druck herrscht, der von 0 bis 17·6 kg an der Oberkante steigt, im Mittel also 8·8 kg, so muß theoretisch nur ein Druck von 6·2 kg hinzukommen, um Gleichgewicht herzustellen. In Wirklichkeit muß der Ballon außerdem noch Biegungsmomente aushalten. Vor allem dasjenige, welches dadurch entsteht, daß die schrägen Leinen 1 und 5 meist nicht genau durch den theoretisch richtigen Punkt gehen. Außerdem übt jedes einzelne Seil eine lokale Beanspruchung aus, und ferner kommen noch Steuerkräfte und Biegungen bei Windstößen hinzu. Rechnen wir für die Unregelmäßigkeiten der Takelung eine Exzentrizität des Druckes von $^1/_{10}$ Ballondurchmesser, so ist dieses $M = 0{\cdot}1\,d \,.\, 3000 = 4800$ kg/m. Für die Steuerkräfte rechnen wir ein Moment von 100 kg . 30 m $= 3000$ kg/m, also ein Gesamtmoment von 7800 kg/m. Dies ergibt



Abbild. 67. Gondelaufhängung eines Parsevalluftschiffes.

$$7800 = p \,.\, F \,.\, \frac{d}{4}, \text{ woraus}$$

$$p = \sim 10 \text{ kg/qm.}$$

Man hätte danach als nötigen Betriebsdruck $10 + 15 = 25$ kg. Hiervon würden 8·8 kg durch den statischen Druck geliefert, so daß der Ventilator nur etwa 16·2 kg zu erzeugen brauchte.

In Wirklichkeit nimmt man 20 kg Druck an der Unterkante, was bei guter Takelung sehr schöne Formen ergibt. Die Sicherheit gegen Einbeulung des Kopfes ist dabei genügend.

Die Biegungsmomente bewirken eine ungleichförmige Beanspruchung des Hüllenstoffs; man tut gut, sie möglichst zu vermeiden. Dann sind die zum Betrieb erforderlichen Überdrücke nur klein.

Der Druck gegen Einbeulungen muß an der Stirnseite mindestens gleich sein demjenigen Überdruck, welchen der Wind auf die Mitte einer senkrecht gestoßenen Platte hervorzubringen vermag. Die Größe dieses Druckes wird gefunden aus der Formel $p = v^2 \,.\, \frac{\gamma}{2g}$, wo $v = 20$ m und $\frac{\gamma}{2g} \sim \frac{1}{16}$ ist $p = 25$ kg/qm.

Bei Ballons mit mehreren Gondeln ist die Beanspruchung weit günstiger als bei einer Gondel, weil die Last gleichmäßiger auf den länglichen Tragkörper verteilt ist und daher die überstehenden Enden kürzer sind. Auch die Höhe der Luftschiffe wird dann geringer, da der Ballon länger, somit sein Durchmesser kleiner gehalten werden kann.

Die Längsgerüste, soweit solche angewendet werden, sind auf Biegung, Druck und Torsion beansprucht; letzteres namentlich dann, wenn eine Luftschraube am Ende eines langen Gerüstes angeordnet ist. Sie werden in bekannter Weise als versteifte Längsträger ausgeführt und haben drei oder vier Längsholme. Die Versteifungen zerlegen die einzelnen Seiten meist durch senkrechte Schnitte in Gefache, so daß lauter von Druckstäben begrenzte rechteckige Felder entstehen, die durch diagonale Zugverspannungen versteift sind. Man kann aber auch dreieckige Felder verwenden, wobei nur Druckstäbe und keine Zugteile in Anwendung kommen. Die erste Methode gibt etwas leichtere, die zweite stabilere Gerüste.

Derartige Bauwerke haben aber eine sehr geringe Elastizität und vertragen daher Stöße schlecht. Auch sind sie empfindlich gegen die Vibrationen der Motoren. Man hat daher mehrfach die Motoren elastisch gelagert, damit die großen Reaktionskräfte der Explosionen nicht voll auf das Gestänge wirken. Ähnliche Gerippe finden sich auch bei Flugzeugen; letztere sollen daher hier mit besprochen werden.

Das Material für Luftfahrzeuge ist Stahl, Aluminium und Holz. Stahl ist für größere Kräfte am besten geeignet. Er erscheint meist in Form von dünnwandigen Röhren. Zu den Verbindungen verwendet man in üblicher Weise verlötete Verbindungsmuffen, die entweder gegossen oder aus Rohrstücken zusammengeschweißt werden. Auch werden die an den Enden durch Muffen verstärkten Rohre plattgeschlagen und miteinander durch Nieten oder Schrauben verbunden. Das einfache Zusammenschweißen der Rohre hat sich nicht bewährt.

In ausgedehntem Maße verwendet Zeppelin Aluminium. Hierbei werden aus Formstücken drei- und vierseitige Träger zusammengenietet, die ihrerseits als Bauelemente Verwendung finden. Dies ergibt überaus leichte Konstruktionen. An Zuverlässigkeit steht Aluminium dem Stahl nach.

Holz wird in umfangreichem Maße bei dem starren Luftschiff „Schütte-Lanz" zur Herstellung des Innengerüstes benutzt. Es dient ferner als Hauptmaterial für Flugzeuge, ist leicht und fest, besitzt aber nicht die Zuverlässigkeit und Dauerhaftigkeit der Metalle. Viel verwendet werden die leichten amerikanischen Nadelhölzer, auch ist Eschenholz sehr beliebt. Doch verziehen sich Holzgerippe bei feuchter Witterung und erfordern ein dauerndes Nachspannen. Den Vibrationen der Motoren widersteht Holz gut.

Die Eckverbindungen werden durch angeschraubte Metallbeschläge bewirkt. Die große Zahl der hierfür bestehenden Systeme läßt schließen, daß es bis jetzt keine ganz befriedigende Verbindung gibt.

Der leichtere Ersatz und die Billigkeit der Holzteile ist der Grund, daß Holz bei Flugzeugen, wo man stets mit viel Bruch rechnen muß, vorwiegend gebraucht wird.

Da die Ballonkörper ein starkes Bestreben haben, sich bei der Bewegung durch die Luft querzustellen, so bedürfen sie großer Pfeilflächen am hinteren Ende, um ihre Längsachse parallel zur Flugbahn zu halten. Man bringt diese (Dämpfungs- oder Stabilisierungsflächen genannten) Teile meist am rückwärtigen Ende des Ballons direkt an (Abbildung 68). Sie bestehen dann aus großen gekreuzten Flächen zu beiden Seiten und ober- und unterhalb des Ballons. Man hängt sie aber auch in Form rechteckiger Zellen unter dem Tragkörper auf. Außerdem werden mit Ballon-

gas gefüllte Zylinder oder Kegel, die sich dem Hauptballon anschmiegen, als Stabilisierungsflächen verwendet (Abbildung 69 und 74).

Die Seitensteuerung der Luftschiffe wird, wie bei Schiffen, durch ein Ruder bewirkt. Bei dem Durchlaufen einer Kurve wird die Spitze des Schiffes durch das Steuer nach innen gestellt, so daß die äußere Langseite des Ballons einen starken Seitendruck empfängt, welcher der Zentrifugalkraft das Gleichgewicht hält. Bei einer scharfen Kurve pendelt die Gondel etwas nach außen und das Schiff stellt sich schief.

Abbildung 68. Großes Parsevalluftschiff mit Dämpfungsflächen.

Die Höhensteuerung wird auf zwei verschiedene Methoden betätigt:

1. Das ganze Schiff wird um die Querachse gedreht, sei es durch die Wirkung von Höhensteuern (Zeppelin), sei es durch ein Laufgewicht oder durch Umlagerung der Luft in den Säcken (zuerst bei Parseval angewendet). Da das Schiff, wenn es im Gleichgewicht schwebt, durch die Schrauben in seiner Achsenrichtung vorwärtsgetrieben wird, so muß es, je nach seiner Achsenrichtung, steigen oder fallen. Ist das Schiff aber nicht im Schwebegleichgewicht, so wird die Bewegungsrichtung einen Winkel zur Längsachse bilden, und dadurch entsteht ein erheblicher Aeroplanwiderstand auf die lange Bauchfläche, der das Schiff um Hunderte von Meter hebt oder senkt.

2. Da bedeutende Kräfte dazu gehören, die Ballons um die Querachse zu drehen, namentlich bei einem sehr tiefliegenden Schwerpunkt, so wenden andere Systeme (Clément Bayard) Aeroplanflächen an, die für sich gedreht werden, ohne daß es nötig ist, den ganzen Ballon zu drehen. Die Tragkraft dieser Flächen hebt und senkt den Ballon. Diese Einrichtung wirkt jedoch schwächer und langsamer als die Drehung des Schiffes (Abbildung 70).

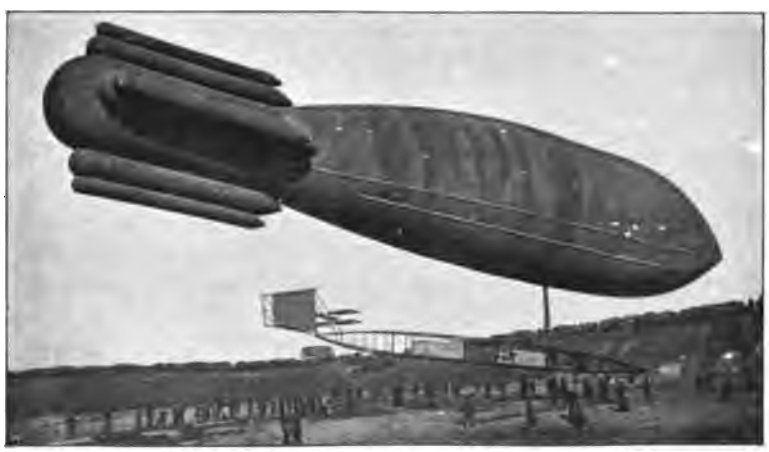


Abbildung 69. Ballon „Ville de Paris".

Die Anbringung der Schraube ist sehr verschieden. Zeppelin bringt die Schrauben seitlich am Ballon in Höhe des allgemeinen Widerstandsmittelpunktes an. Bei den übrigen Systemen sitzt die Schraube an der Gondel, und zwar meist an Auslegern, oberhalb und seitwärts der Gondel, wo sie am besten geschützt ist. Für

kleine Schiffe und Kräfte eignet sich auch die Anordnung am Ende eines langen Ballonträgers.

Einigkeit herrscht in dem Bestreben, die Schrauben so groß wie möglich zu machen, und um keine allzu unbequemen Durchmesser zu erhalten, nimmt man mehrere Schrauben. Zeppelin hat vier Schrauben an seitlichen Auslegern in zwei Gondeln, Parseval zwei Schrauben in einer Gondel, Siemens-Schuckert sechs kleine Schrauben, je drei an zwei Gondeln. Die französischen Schiffe haben zwei Schrauben an seitlichen Auslegern oder nur eine große am Ende des Längsträgers.

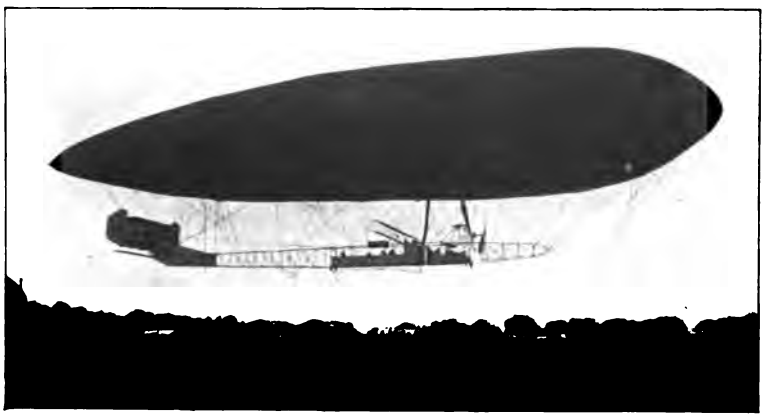


Abbildung 70. Ballon Clément Bayard.

Um den Auslauf des Schiffes bei der Landung zu hemmen, haben einige Systeme (Zeppelin und Parseval) reversierbare Schrauben.

Zur Landung dienen ein oder mehrere Schleppseile. Als Ballast dient Wasser, das bei Kälte mit Spiritus gemischt wird. Sand kann leicht in den Motor geraten und Störungen hervorrufen.

Zur Ausrüstung der Motorluftschiffe gehören Druckmesser für den Gasraum und die Luftsäcke (meist Wassermanometer), Klinometer zur Messung der Neigung der Ballonachse, ferner Kompaß und Barometer und das nötige Kartenmaterial.

Die Bewaffnung der Motor-Kriegsluftschiffe kann mit Maschinengewehren oder gewöhnlichen Repetiergewehren bewirkt werden.

Um auch nach oben beobachten zu können, hat Schütte-Lanz einen durch einen vertikalen Schacht zugänglichen Beobachtungsstand auf der Oberseite angebracht.

9. ENTWICKLUNG DER LENKBAREN LUFTSCHIFFE

FRANKREICH. Das 19. Jahrhundert hat uns die Idee des lenkbaren Luftballons gebracht und die für denselben maßgebenden Formen geschaffen. Die gelungenste Lösung des Problems war damals der Versuch Renards im Jahre 1884. Noch heute arbeitet die Firma Clément Bayard, mit entsprechenden Verbesserungen, nach diesem Muster (Abbildung 71).

Der Ballon hatte eine sehr sorgfältig bestimmte, elegante längliche Form mit kurzem, spitzem Kopf und lang verlaufendem Hinterteil. Er enthielt in der Mitte ein Ballonet, welches durch einen Ventilator mit Luft gefüllt wurde, und war ohne jedes Versteifungsgerüst mit zahlreichen Leinen an der Gondel befestigt. Diese selbst hatte eine so große Länge, daß der durch sie gehaltene Ballon genügend versteift war.

Auf dieser Gondel war ein von Akkumulatoren gespeister 8-P. S.-Elektromotor und der Raum für die Passagiere, am vorderen Ende eine große Treibschraube, am hinteren Ende die Stabilisierungs- und Steuerflächen angebracht. Eine lange geheimgehaltene Anordnung war eine am hinteren Ende des langen Gondelgerüstes

befestigte horizontale Dämpfungsfläche. Am vorderen Ende war die hölzerne Schraube, nach den Prinzipien von Helmholtz, groß und langsam laufend. Sie wurde mittels eines Stirnradgetriebes angetrieben. Das Luftschiff erreichte eine Geschwindigkeit von 22 km pro Stunde, was sich für den praktischen Gebrauch als unzureichend erwies. War somit ein direkter Erfolg nicht erreicht, so hatte die Welt doch zum erstenmal ein wirklich lenkbares Luftschiff manövrieren sehen und eine weithin wirkende Anregung empfangen.

Abbildung 71. La France 1884.

Das umsichtig vorbereitete Unternehmen war an der zu geringen Leistungsfähigkeit des Motors gescheitert. Diesem Übelstande wurde aber durch die in dem letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts stattfindende Ausbildung des Automobilmotors abgeholfen. Sobald derselbe eine halbwegs befriedigende Betriebssicherheit erlangt hatte, wurde er auch am lenkbaren Luftschiff angewendet, und zwar war es zunächst der Brasilianer Santos Dumont, der mit kleinen, anfangs recht unvollkommenen Lenkballons seine gefährlichen Versuche über der Stadt Paris unternahm, wodurch er sich eine weit über die Grenzen Frankreichs hinausreichende Popularität gewann. Mit unermüdlicher Energie erprobte er stets neue, verbesserte Apparate, und es gelang ihm auch am 19. Oktober 1900, mit seinem Luftschiff Nr. 6 (Abbildung 72), einer verkleinerten Nachahmung des Renardsystems, jedoch ohne Dämpfungsflächen, den Eiffelturm zu umfliegen und einen von Deutsch de la Meurthe für diese Leistung ausgesetzten Preis von 100000 Frank zu erringen. Dann ließ er aber die Sache liegen, und es schien, als sollten seine Ergebnisse unausgenutzt bleiben.

Abbildung 72. Santos Dumont.

Indessen war in Frankreich auch von anderer Seite das Studium der Frage aufgenommen worden, von den Brüdern Paul und Pierre Lebaudy. Dieselben ließen 1902 ihr erstes Luftschiff nach den Plänen des Ingenieurs Julliot nach einem ganz neuen Typ erbauen. So wie es nach längeren Versuchen sich gestaltet hat, besteht es aus einem länglichen, vorn und hinten zugespitzten Ballon, der allerdings an Eleganz die Renardsche Form bei weitem nicht erreicht (Abbildung 73). An der Unterseite des Ballons ist eine Plattform aus Metallrohren befestigt, an welcher die Gondel mittels Seilen aufgehängt ist. Die überstehenden

Enden des Ballons halten sich durch ihre natürliche Steifigkeit. Die Dämpfungsflächen bestehen aus zwei gekreuzten, mit Stoff überzogenen Metallrahmen, welche kranzförmig das hintere Ende des Ballons umfassen. Der Antrieb erfolgt durch zwei rechts und links der Gondel angeordnete Luftschrauben, und zwar so, daß die Verlängerung der Achse des quer zur Gondel stehenden Motors senkrecht auf die Schraubenachsen trifft, so daß die Bewegung durch ein Kegel- oder Schraubenräderpaar übertragen werden kann. Diese Anordnung ergibt sehr tiefliegende Schrauben, was namentlich bei großen Motorstärken und hohem Schraubendruck eine Ursache zu Schwankungen ist. Damit die Schrauben bei der Landung nicht auf den Boden aufstoßen, ist die Gondel durch ein hohes, nach unten spitz zulaufendes Gestell aus Stahlrohr unterbaut. Die Schrauben sind aus Stahl und besitzen eine sehr hohe Tourenzahl.

Die ersten Versuche mit den Lebaudyschiffen hatten ein so günstiges Resultat, daß das Französische Kriegsministerium das Schiff für militärische Zwecke in Gebrauch nahm. Hiermit war der entscheidende Schritt getan, da die allgemeine militärische Konkurrenz alle anderen Militärstaaten zur Nachfolge zwang.

Doch sollte die Firma Lebaudy in Frankreich nicht lange ohne Wettbewerb bleiben. Schon im Jahre 1901 wurden auf Kosten des Großindustriellen Deutsch de la Meurthe Versuche mit dem Luftschiff „Ville de Paris" gemacht, das im wesentlichen eine Nachahmung des ersten Renardluftschiffes war (unter Mitwirkung des damals noch lebenden Erfinders), nur daß der Elektromotor durch einen starken Benzinmotor ersetzt wurde und daß wirksamere Dämpfungsflächen eingebaut wurden. Die Form derselben hat mehrfache Wandlungen erlitten. Anfangs wurden nach Angabe Renards konische und zylindrische, mit Wasserstoff gefüllte Steuerkörper an dem entsprechend gestalteten Hauptballon hinten angesetzt. Jetzt ist eine große, aus mehreren gekreuzten horizontalen und vertikalen Flächen bestehende Zellenkonstruktion unter dem hinteren Ende des Ballons angehängt (siehe Abbildung 70).

Nach dem nämlichen Muster, nur mit kleinen Abänderungen, arbeitete das Luftschiff des Grafen de la Vaulx, welches von der Gesellschaft Zodiak gebaut wurde.

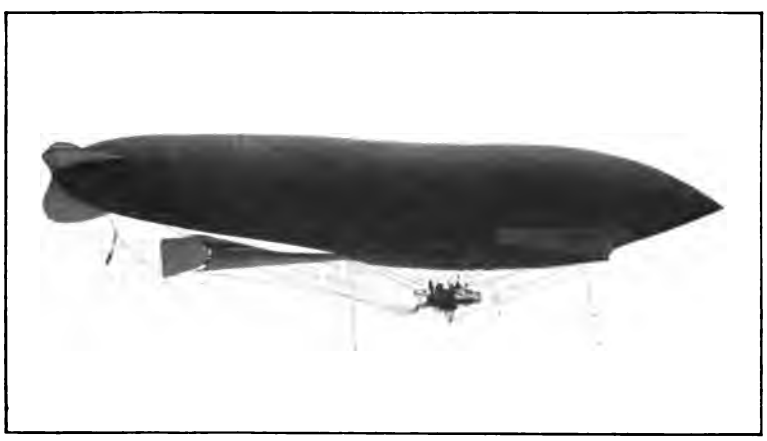


Abbildung 73. Ballon „Patrie".

Bei den genannten Systemen wird die Höhensteuerung durch drehbare Aeroplanflächen unter der Mitte des Schiffes bewirkt, welche das Schiff, je nach ihrer Stellung, herauf- oder herabdrükken. Da diese nur relativ kleine Kräfte ausüben können, welche nicht imstande sind, den atmosphärischen Einflüssen die Wage zu halten, so muß in erheblichem Maße mit Ventil und Ballast gearbeitet werden. Es ist auch nicht möglich, rasch zu steigen, weil eine Einrichtung fehlt, um die Achse des Luftschiffes der steigenden Flugbahn entsprechend zu verstellen. Infolgedessen leistet der breite Rücken des Ballons dem Anstieg einen erheblichen

Widerstand. Dieser Nachteil ist allen Luftschiffen mit sehr tiefliegendem Schwerpunkt gemeinsam, da es mit den im Ballon verfügbaren Mitteln (Laufgewicht, Steuerflächen) nicht möglich ist, die Spitze des Schiffes genügend weit auf- oder abwärts zu drehen.

DIE DEUTSCHEN LUFTSCHIFFE. Das älteste deutsche Luftschiffsystem ist dasjenige des Ingenieurs Haenlein, geboren am 17. Oktober 1835 in Mainz, gestorben am 27. Januar 1905 ebenda; seine Patente gehen bis auf das Jahr 1865 zurück. Die Konstruktion ist die später von Renard ausgeführte. Wie alles, was seiner Zeit zu sehr vorauseilt, hatte auch dieses Projekt keinen praktischen Erfolg. Letzterer sollte erst viel später eintreten, als Wissenschaft und Technik die entsprechenden Fortschritte gemacht hatten.

Abbildung 74. Clément Bayard, ältere Form.

Das erste deutsche Luftschiff, das zu praktischer Bedeutung gelangte, ist dasjenige des Generals Graf Ferdinand von Zeppelin. Graf Zeppelin ist geboren am 7. Juli 1838 in Konstanz, trat in die Armee ein und wurde 1857 Leutnant, machte seinen Namen als Generalstabshauptmann 1870 durch einen verwegenen Patrouillenritt am 26. Juli bekannt und trat als Generalleutnant im Jahre 1890 in den Ruhestand. Nun erst begann er sich mit seinem Luftschiffprojekt zu beschäftigen.

Während die neueren französischen Schiffe keine originellen Ideen aufweisen und auch in der Schönheit der Form ihr Vorbild, den Oberst Renard, nicht erreichen, ist Zeppelins Konstruktion von ebenso großer Eigenart als Kühnheit und getragen von einem feinen Formgefühl.

Der Grundgedanke besteht darin, ein starres Gerippe herzustellen, das dem Schiffe die nötige Steifigkeit und die äußere Form verbürgt. Der Körper besteht aus einem sechzehnseitigen regelmäßigen Zylinder, dessen beide Enden durch ovale Spitzen gebildet werden. Durch senkrechte Querwände wird der Ballon in siebzehn selbständige Abteilungen geteilt, in welchen Stoffkörper untergebracht sind, die den ganzen Raum ausfüllen. Diese Stoffkörper werden mit Wasserstoff gefüllt und erteilen dem Schiffe die nötige Tragkraft. Das Gerippe ist aus Aluminiumträgern zusammengesetzt. Ein leichter Stoffüberzug gibt dem Ganzen eine glatte äußere Form. Die Länge ist etwa zehnmal größer als der Durchmesser, infolgedessen muß die Last auf zwei oder drei Gondeln verteilt werden, welche mit je zwei durch Benzinmotore betriebene Luftschrauben ausgestattet sind (Abbildung 75).

Das starre Gerippe ermöglicht es, die Antriebsschrauben so hoch zu legen, daß sie in nahezu gleicher Linie mit dem Widerstandszentrum stehen. Die Gondeln sind dicht unter dem Ballon, wodurch die Höhe des Schiffes verhältnismäßig klein wird. Der Gesamtschwerpunkt des Schiffes liegt hoch, das statische Moment ist relativ klein; daher kann das Schiff mit geringer Kraft um seine Querachse gedreht werden.

Abbildung 75. Luftschiffbau Zeppelin.

Diese Drehung wird durch Höhensteuer und durch Gewichtsverlegung bewirkt. In der älteren Form war unter dem vorderen und hinteren Ende des Schiffes je ein System von drehbaren horizontalen Aeroplanflächen angebracht, welche als Höhensteuer wirkten. Das Schiff konnte hierdurch eine starke Schräglage einnehmen und in steiler Bahn steigen oder fallen.

Neuerdings sind diese Höhensteuer, da sie die Geschwindigkeit zu sehr beeinträchtigen, durch solche am hinteren Ende des Schiffes ersetzt (Abbildung 77). Außer diesen Höhensteuern trägt das hintere Ende gewaltige Dämpfungsflächen, welche dem Schiffe ein abenteuerliches Aussehen geben.

Das Gerippe besitzt eine große Empfindlichkeit gegen Bodenberührungen und ist bei ernsten Beschädigungen meist als verloren zu betrachten, da es wegen seiner Größe nicht transportabel ist. Das hat die Geschichte der Z-Schiffe wiederholt bewiesen.

Im Jahre 1900 gelangte das größtenteils aus Eigenmitteln des Grafen erbaute erste Schiff zum Versuch. Wie nicht anders zu erwarten, waren die ersten Erfolge mangelhaft. Ein neues Schiff wurde im Jahre 1905 fertiggestellt; dasselbe scheiterte aber bei der ersten Fahrt. Mit eigenen Mitteln erbaute Zeppelin ein drittes Schiff, das am 9. und 10. Oktober 1906 sehr erfolgreiche Fahrten machte. Ein mit Reichsunterstützung erbautes verbessertes Schiff machte im Sommer 1908 eine große Dauerfahrt von Konstanz über Straßburg nach Mainz. Auf der Rückfahrt war es jedoch durch Motordefekte zu einer Zwischenlandung bei Echterdingen in Württemberg genötigt und wurde hier durch eine Gewitterbö vom

Abbildung 76. Luftschiffbau Zeppelin.

Anker losgerissen und dann durch Brand, vermutlich infolge der Elektrizität, vollständig zerstört.

Der Eindruck dieser ersten großen Fernfahrt auf das deutsche Volk war aber ein so gewaltiger, daß eine allgemeine nationale Begeisterung entstand und durch eine freiwillige Sammlung eine Summe von 6170000 Mark zur Fortsetzung der Versuche aufgebracht wurde. Doch waren auch im weiteren Verlaufe die Zeppelinschiffe vom Mißgeschick verfolgt.

Ein in militärischen Besitz übergegangenes Schiff scheiterte bei einer Übung bei Limburg, ein für Passagierfahrten bestimmtes Schiff im Teutoburger Walde, und, um das Unglück vollzumachen, verbrannte ein drittes Schiff in seiner Halle in Baden-Baden. Das Ersatzschiff endlich wurde beim Herausbringen aus der Halle durch einen Windstoß an die Hallenwand gedrückt und zerstört.

Abbildung 77. Zeppelinschiff.

In neuester Zeit sind die Schiffe sehr verbessert worden durch Einbau von Maybachmotoren von 160 P.S. Zwei derselben sind in der hinteren Gondel und betreiben zwei vierflügelige Schrauben aus Aluminium. Einer ist in der vorderen (Führer-)Gondel aufgestellt und betreibt zwei zweiflügelige Schrauben. Außer den zwei Motorgondeln ist noch eine dritte Passagiergondel unter der Mitte des Schiffes vorhanden.

Die erreichte Geschwindigkeit beträgt 21 m pro Sekunde. Die Manövrierfähigkeit der Schiffe ist gut. Ihr kleinster Drehkreis hat infolge der großen Länge und der gewaltigen Dämpfungsflächen eine erhebliche Größe. Ihre Fahrtdauer beträgt ca. vierundzwanzig Stunden. Ihr Volumen beträgt 14000 bis 20000 cbm.

Abbildung 78. Parseval. Erster Aufstieg des Versuchsschiffes 1906.

Im Prinzip das gerade Gegenteil zum Zeppelinballon ist das Parsevalluftschiff. Bei seinem Entwurf war das Bestreben vorwaltend, ein möglichst kleines Fahrzeug zu erhalten, das seinem Charakter nach sich von einem gewöhnlichen Luftballon möglichst wenig unterscheiden sollte (Abbildung 78). Um die Zahl und die Größe der starren Teile soweit wie möglich zu reduzieren, und um namentlich Versteifungsgerüste an dem länglichen Ballon entbehrlich zu machen, wird derselbe mittels eines

Ventilators, der zwei große Ballonets beschickt, so straff mit Luft aufgeblasen, daß er in sich selbst die nötige Steifigkeit findet, um die kleine und tiefliegende Gondel an ihn aufhängen zu können, ohne daß er sich deformiert. Der dazu erforderliche Innendruck ist keineswegs größer als bei den französischen Schiffen mit außenliegendem Versteifungsgerippe. Er beträgt bei den Schiffen mit Ballonetsteuerung je nach der Größe 15 bis 25 mm Wasser; nur bei den kleinsten Schiffen, welche mit Höhensteuer ausgerüstet sind, muß der Innendruck ein etwas höherer sein, damit das Höhensteuer genügend starr befestigt werden kann. Die Steuer- und Dämpfungsflächen sind am Ballonkörper selbst angebracht und bestehen aus Rahmen, welche auf beiden Seiten mit luftdichtem Stoff bespannt sind; zwischen beide Stoffwände wird durch einen Windfang der Fahrtwind geleitet, so daß sie sich nach außen aufblähen und nicht schlackern können.

Abbildung 79. Parsevalschiff. Der Ballon wird auf Wagen verladen.

Die Gondel ist nicht starr am Ballon aufgehängt, sondern kann, ähnlich einer Schaukel, innerhalb gewisser Grenzen nach vor- und rückwärts schwingen. Vertikale Taue halten die Mitte des Ballons, während die Ballonspitzen durch schräge Taue gehalten werden, die untereinander in Verbindung stehen und an der Gondel über Rollen laufen (siehe Abbildung 67 im Artikel: Bau der lenkbaren Luftschiffe). Auf diesen Rollen gleitet die Gondel bei Schwingungen hin und her. Durch diese Einrichtung wird die Stabilität des Schiffes vermindert, und man kann mit geringer Kraft die Spitze auf- und abwärtsstellen. Dies geschieht mittels der in den Enden des Luftschiffes angebrachten Luftsäcke. Wenn einer derselben mehr Luft enthält als der andere, stellt sich das Luftschiff schräg und steigt oder fällt unter dem Druck der Schrauben und der Drachenwirkung der Ober- und Unterseite. Die Verteilung der Luft in den Säcken wird durch das Umschaltventil (Abbildung 65b im Artikel: Bau der lenkbaren Luftschiffe) bewirkt. Diese Vorrichtung wirkt kräftiger als ein Höhensteuer, und man

Abbildung 80. Parsevalschiff. Gondel auf Wagen verladen

hat es in der Hand, dem Schiffe die gewünschte Neigung zu geben und, ebenso wie bei Zeppelinschiffen, die Aeroplanwirkung der Bauch- und Rückenflächen kräftig auszunutzen.

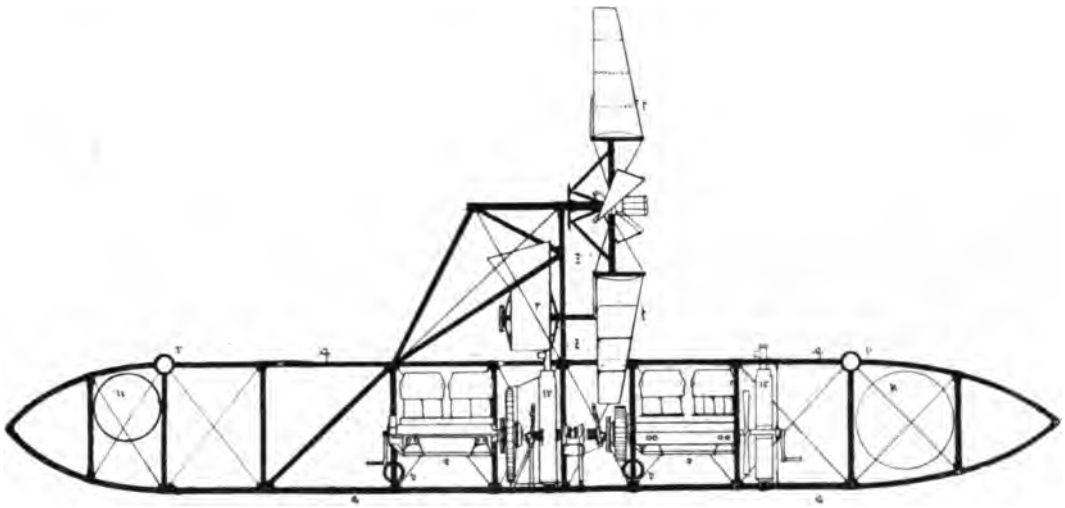


Abbildung 81. Großes Parsevalschiff. Gondel.

Die kleinsten Schiffe (Abbildung 83 und 84) besitzen nur einen Luftsack; hier wird die Höhensteuerung durch ein unterhalb der Ballonspitze angebrachtes Höhensteuer bewirkt.

Eine Besonderheit ist auch die angewendete Luftschraube (siehe Artikel: Luftschraube). Dieselbe gewährt den wichtigen Vorteil, daß sie durch Drehen der einzelnen Flügel auf Rückwärtsgang gestellt werden kann. Bei engen Landungsplätzen, wo es sich darum handelt, den Ballon rasch zum Stehen zu bringen, ist dies unentbehrlich (Abbild. 85).

Abbildung 82. Großes Parsevalschiff.

Die Größen, in welchen man die Schiffe ausführt, liegen zwischen 1800 und 10000 cbm.

Das größte bisher ausgeführte Schiff von 10000 cbm war mit zwei Motoren von je 200 P.S. ausgerüstet und erreichte eine Geschwindigkeit von 18·2 m/sek bei einer Fahrtdauer von zwanzig Stunden und einer Höhenleistung von 1500 m. Die für den Passagierverkehr gebauten Schiffe haben ein Volumen von 8000 cbm und 200 P.S. Sie erreichen Geschwindigkeiten von ca. 15 m/sek.

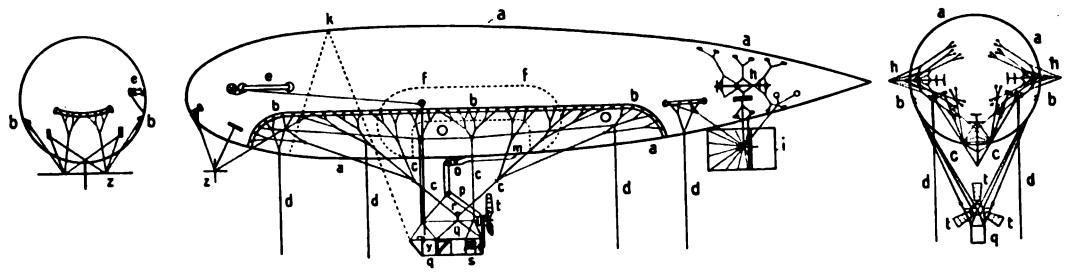


Abbildung 83. Kleines Parsevalschiff.

Bei kleinen Schiffen geht man mit der Steighöhe und der Fahrzeit herab, gibt ihnen aber eine Geschwindigkeit von mindestens 14—15 m, eventuell mit nur einem Motor und einer Schraube.

Außer den Zeppelin- und Parsevalschiffen sind in Deutschland noch eine Anzahl anderer Luftschiffe gebaut worden, welche im wesentlichen den französischen Typen ähnlich sind. Sie haben alle ein unter dem Ballon liegendes und zu dessen Achse paralleles Längsgerüst nebst darunter aufgehängter Gondel. Kleinere Schiffe dieser Art sind von Ruthenberg in Berlin-Weißensee und von Couth in Köln gebaut worden.

Die bemerkenswerteste Ausführung aber, die wohl den Vorgenannten zum Muster gedient hat, sind die Schiffe des Königlich Preußischen Militär-Luftschiffer-Bataillons (Abbildung 86).

Ihre Stabilisierungsflächen sind ähnlich denen der Parsevalschiffe; die Propeller sind tunlichst hoch in die Nähe des Ballons gelegt, was bei Bodenberührungen von großem Vorteil ist. Das größte bisher in Betrieb gesetzte Schiff erreichte mit 300 P. S. eine Geschwindigkeit von 16·4 m.

Ein interessanter und selbstständiger Typ ist das Luftschiff der Firma Siemens-Schuckert (Abbildung 87, 88, 89), das in den Jahren 1910—1911 eine Reihe gelungener Fahrten ausgeführt hat. Der ohne Versteifungen konstruierte Ballon faßt ca. 13000 cbm. Er trägt drei Gondeln, und zwar zwei Motorgondeln unter den Enden, die Führergondel unter der Mitte des Schiffes. Die Motorgondeln enthalten je zwei Motoren von 120 P.S., so daß im ganzen 480 P. S. vorhanden sind. Der vordere Motor ist quergestellt und betreibt zwei seitwärtsgelegte zweiflügelige stählerne Schrauben von 3 m Durchmesser. Der hintere Motor betreibt eine vierflügelige Stahlschraube von 3 m Durchmesser. Die Führergondel enthält einen besonderen Motor zum Betriebe des Ventilators. Das Schiff hat drei

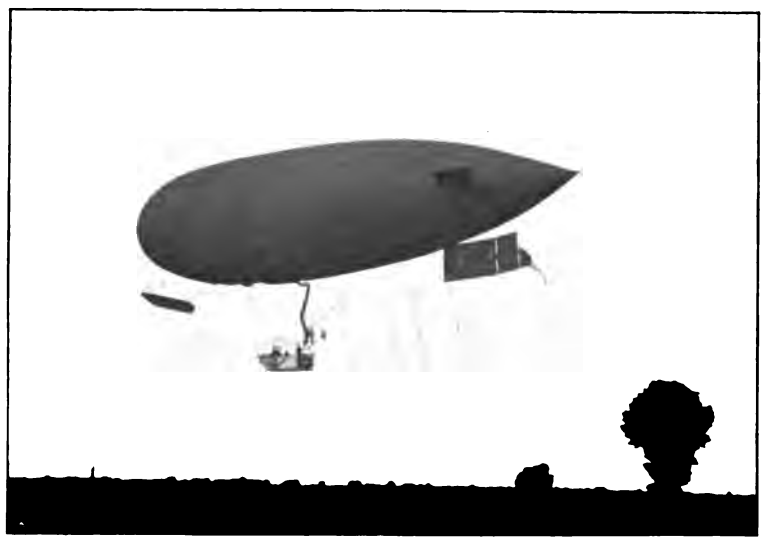


Abbildung 84. Parseval-Sportluftschiff.

kugelförmige Ballonets; die Ventile werden pneumatisch betätigt. Die Stabilisierungsflächen sind in Kastenform unter dem Ballon angebracht. Die erreichte Geschwindigkeit betrug 19 m/sek.

Abbildung 85. Parseval VI bei Garmisch.

Eine weitere starre Konstruktion ist auch das Luftschiff Schütte-Lanz, wovon die Abbildungen 90 und 91 einen Begriff geben. Das Gerippe ist aus Holz, der Hohlraum ist, wie bei Zeppelin, von kleineren Tragballons ausgefüllt, deren genaue Konstruktion nicht bekannt ist. Zwei Motoren von je 240 P.S. betreiben je eine Schraube von relativ kleinem Durchmesser; das Schiff hat einige Fahrten gemacht; über die Leistungen ist nichts Näheres bekanntgeworden.

In den übrigen Staaten ist bemerkenswert durch eine originelle Konstruktion das italienische Militärluftschiff. Dasselbe besitzt einen der Gestalt des Ballons angepaßten geschweiften Längsträger, welcher mit dem Ballon zusammen einen einzigen, mit Stoff eingedeckten Körper bildet, wodurch der Luftwiderstand in günstiger Weise herabgesetzt wird. Auch die Form des Ballons ist eine gute, und die Geschwindigkeit soll eine sehr befriedigende gewesen sein. Bei den glänzenden Fahrtergebnissen muß allerdings die Gunst des italienischen Klimas in Betracht gezogen werden.

In Belgien wurden in den Jahren 1909 und 1910 erfolgreiche Versuche seitens Professors Goldschmit mit dem Luftschiff „La Belgique" unternommen, einer Nachahmung der französischen Astra-luftschiffe.

Abbildung 86. Preußisches Militärluftschiff.

Wenig Erfolg hatte man in England. Eigenversuche mit den Namen „Nulli secundus" I und II, sowie „Baby" (ein Luftschiff aus Goldschlägerhaut — wohl ein Unikum) verliefen resultatlos, und man entschloß sich, die Schiffe aus Frankreich zu beziehen.

Auch in Amerika, wo man unter dem dominierenden Einfluß der Gebrüder Wright vermutlich glaubte, die Luftschiffe durch Flugzeuge ersetzen zu können, gelangte man nur zu kleinen, von Akrobaten gebauten Versuchsfahrzeugen im Stile Santos Dumonts, aber weniger geschickt und elegant angefertigt und nur geeignet, Sensation zu machen. Eine bedeutendere Unternehmung war das Luftschiff Wellmans, mit welchem eine Fahrt an den Nordpol ausgeführt werden sollte. Dasselbe sollte nicht unabhängig

Abbildung 87. Siemens-Schuckert-Schiff.

vom Winde sich bewegen, sondern nur eine mäßige Ablenkung von der Windrichtung ermöglichen. Es war nach dem Renardtypus gebaut und hatte einen kurzen, gedrungenen Ballon mit relativ schwachen Motoren. Um eine langdauernde Fahrt zu ermöglichen, war ein im Wasser schleifendes Schleppseil angeordnet, welches ein Erheben des Schiffes in größere Höhen verhindern sollte. Im Jahre 1907 fand eine kurze Fahrt statt, welche nach wenigen Stunden auf einem Gletscher in Spitzbergen endete. Ein ähnliches Ergebnis hatte ein weiterer Versuch im Jahre 1909.

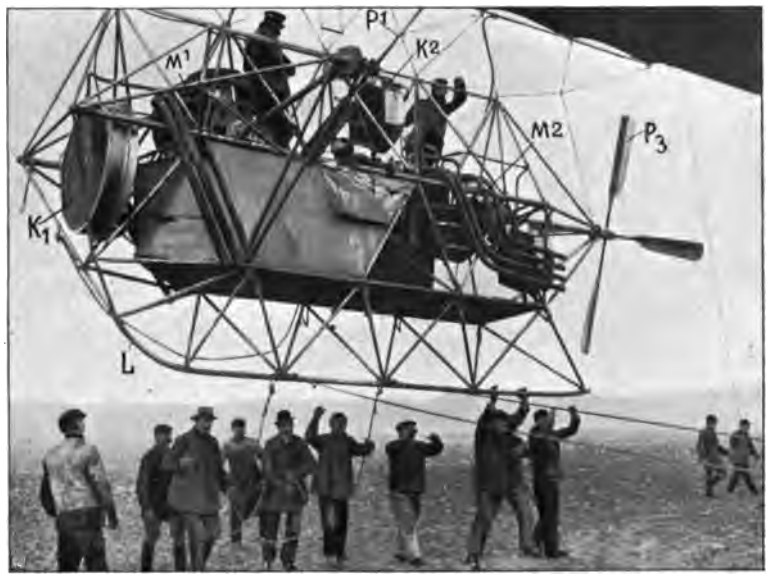
Abbildung 88. Siemens-Schuckert-Schiff.

Im folgenden Jahre 1910 wurde der Versuch gemacht, den Atlantischen Ozean von Amerika nach Europa zu queren. Nach dreitägiger Fahrt wurde das Schiff, welches hilflos mit dem Winde trieb und durch das von den Wogen

gepeitschte Schleppseil stark gefährdet war, von der Bemannung verlassen. Die Bemannung wurde von einem Dampfer gerettet; das Luftschiff verschwand in den Wolken.

In Rußland und Österreich sind zurzeit Versuche mit fremden sowohl als auch mit eigenen Neukonstruktionen im Gange.

Bei den vielen bisher ausgeführten Fahrten der lenkbaren Luftschiffe hat sich das Klima Mitteleuropas für die Luftfahrt als ungünstig erwiesen. In den für die Fahrt in Betracht kommenden Höhen bis etwa 500 m über dem Boden beträgt die mittlere Windstärke 8—10 m, so daß nur Schiffe von mehr als 12 m Eigengeschwindigkeit eine einigermaßen genügende Brauchbarkeit haben. Nur sie können, auch beim „Normal"wetter, in nicht zu langer Zeit ein der Windrichtung entgegenliegendes Ziel erreichen. Außerdem sind Nebel und Wolken ein gefährliches Hindernis, indem sie die Orientierung häufig unmöglich machen; endlich bedrohen Schnee und Regen die Tragkraft der Luftschiffe, und bei Gewittern ist die Blitzgefahr eine große. Aus diesem Grunde ist kaum Aussicht, jemals einen regelmäßigen Transportbetrieb mit Luftschiffen einrichten zu können.



Abbild. 89. Die vordere Betriebsgondel des Siemens-Schuckert-Schiffes.

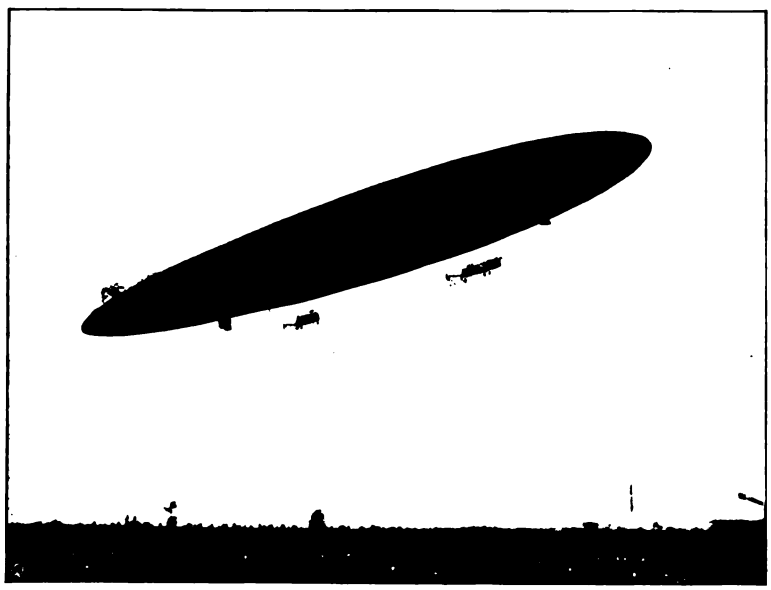


Abbildung 90. Luftschiff Schütte-Lanz.

Dagegen dürfte die Verwertung der Luftschiffe für militärische Zwecke, für Sport- und Vergnügungsfahrten sich mehr und mehr ausbreiten. Ihr Hauptfehler, die zu geringe Fahrtgeschwindigkeit, wodurch sie sich bei stürmischem Wetter nicht gegen den Wind halten können, ist durch die neuesten Erfolge der großen Schiffe ziemlich beseitigt, da ihre Marschgeschwindigkeit 15—16 m,

ihre Höchstgeschwindigkeit 19—21 m/sek beträgt. Zum Schutze der Motorluftschiffe vor den Einflüssen der Witterung werden sie in Hallen untergebracht. Ohne solche ist ein Dauerbetrieb nicht denkbar. Die gewöhnliche viereckige Halle hat den Nachteil, daß man nur nach einer Seite herauskann. Da man ein größeres Schiff mit der Breitseite gegen den Wind nicht halten kann, so ist das Heraus- und Hereinbringen unter Umständen unmöglich. Das Ideal wäre eine Rundhalle mit Ausgängen nach allen Seiten, so daß die Schiffe immer auf der Leeseite heraus- und hineinkönnen. Doch sind hierbei der große Raumbedarf und die Kosten hinderlich. Bis jetzt ist eine solche Anlage nicht ausgeführt; man hat sich begnügt, geräumige rechteckige Hallen zu errichten.

Abbildung 91. Luftschiff Schütte-Lanz.

Einzigartig ist die Siemens-Schuckert-Halle in Berlin, welche um einen festen Punkt drehbar ist (Abbildung 88). Sie steht auf einer Anzahl auf kreisförmigen Schienen laufender Rollwagen und wird durch maschinelle Kraft gedreht (in einer Stunde um einen ganzen Kreis), so daß sie sich der jeweiligen Windrichtung anpassen kann. Das Material der Hallen ist Holz, Eisen oder Eisenbeton und Mauerwerk. Die Eingänge werden durch große Schiebetüren oder bei einfacheren Anlagen durch Vorhänge geschlossen. Für den Feldgebrauch hat man Zelthallen erbaut, die leicht transportiert und in kurzer Zeit aufgestellt werden können.

10. BAU DER FLUGZEUGE

Während den Ballonfahrzeugen das Traggas den nötigen Auftrieb liefert, wird bei Flugzeugen die Tragkraft auf dynamischem Wege gewonnen. Ein Flugzeug ist ein Triebwerk, das eine größere Masse Luft nach unten fördert. Hierbei tritt eine der Triebkraft gleiche entgegengesetzte Reaktionskraft auf, die eigentliche Hebewirkung.

Ist m die Masse der pro Sekunde geförderten Luft, w die der Luft erteilte mittlere Vertikalgeschwindigkeit, so ist die Tragkraft $T = m \cdot w$.

$$\text{Beispiel: } m = 800 \text{ cbm} = 1000 \text{ kg}, \quad w = 4 \text{ m/sek}$$

$$T = \frac{1000}{g} \cdot 4 = 408 \text{ kg}, \quad \text{wo } g = 9{\cdot}81$$

gleich Beschleunigung der Schwere.

Die hierzu nötige Arbeitsleistung ist im günstigsten Falle, nämlich wenn der ganzen Luftmasse die gleiche Geschwindigkeit erteilt wird und gar keine sonstigen Nebenbewegungen entstehen:

$$A = \tfrac{1}{2} m \; w^2 = T \cdot \frac{w}{2}$$

in unserem Beispiel = 816 kgm = 12·4 P. S.

Dieser Ansatz bietet jedoch zurzeit unüberwindliche Rechnungsschwierigkeiten; er lehrt aber, daß die zum Schwebenbleiben erforderliche Arbeitsgröße, die sogenannte Schwebearbeit, verkleinert werden kann, indem man die Luftmasse, auf die gewirkt wird, recht groß und die ihr erteilte Geschwindigkeit recht klein macht. Die Tragkraft T muß nämlich stets gleich dem Apparatgewicht sein und ist eine gegebene Größe, während der Konstrukteur über m und w verfügen kann. Die Arbeitsleistung $T \cdot \frac{w}{2}$ ist also um so kleiner, je kleiner w ist. Nun ist auch $T = m \cdot w$; je größer also die bewegte Luftmasse m gemacht wird, um so kleiner wird die ihr erteilte Geschwindigkeit w und um so kleiner die Schwebearbeit $\left(T \cdot \frac{w}{2}\right)$.

Man muß also auf eine möglichst große Fördermenge hinwirken, braucht dazu aber große Flächen und große Querschnitte.

Zu der Schwebearbeit tritt nun die Fortbewegungsarbeit noch hinzu. Beides beeinflußt sich gegenseitig. Eine große Fahrgeschwindigkeit vermehrt einerseits die Fördermenge, vermindert daher die Schwebearbeit, erhöht dagegen die Fahrtwiderstände. Daher hat jedes Flugzeug eine günstigste Geschwindigkeit, bei der es mit einem Mindestverbrauch an Arbeit fliegt.

Die verschiedenen Systeme unterscheiden sich durch die Art des Triebwerks.

1. Die Schwingenflieger oder Schlagflügelwerke.

Dieselben sind dem Vogelflügel nachgebildet, haben auf- und niedergehende Flächen mit einem System von Klappen, die sich beim Schlage schließen, bei der Hebung öffnen. Lilienthal hat ein solches Werk mit Fußbetrieb probiert, nach seiner Angabe mit gutem Wirkungsgrad, der aber doch noch lange nicht ausreichend war. Neuere Versuche blieben ergebnislos. Solche Apparate arbeiten mit Flächen von ungleichförmiger Schlaggeschwindigkeit, und es ist wahrscheinlich, daß hierbei wesentlich andere Widerstände auftreten als bei den bisher untersuchten, gleichförmig bewegten Flächen. Bei der Arbeit auf der Stelle ist jedoch die Fördermenge zu klein und das Klappenwerk zu kompliziert und kraftraubend. Wendet man einen Anlauf an wie die großen Vögel, arbeitet also mit Fahrgeschwindigkeit, so bessert sich die Fördermenge, und man kann auch die Klappen einfacher halten, weil sie sich nicht so weit zu öffnen brauchen.

Der Apparat verspricht dann guten, aerodynamischen Effekt; die hin- und hergehende Flügelbewegung bereitet aber große mechanische Schwierigkeiten.

Ein zweites System sind die Radflieger, bei denen die hebenden Flächen an einem Rade mit horizontaler Achse befestigt sind und meist wie Schaufeln eines Raddampfers sich drehen, so daß sie mit geringem Widerstand nach oben, mit großem

nach unten gehen. Diese Apparate sind schwer, kompliziert und haben eine viel zu geringe Fördermenge. Ihre praktischen Ergebnisse sind gleich Null.

Weit besser sind Flugräder mit vertikaler Achse, die sogenannten Tragschrauben; sie sind technisch leichter ausführbar; am Platz arbeitend haben aber auch sie eine zu geringe Fördermenge und brauchen zum Erheben vom Boden eine erhebliche Kraft. Es ist noch nicht gelungen, diese Schwierigkeit zu überwinden. Der erste Gedanke geht, wie auch der der Schwingenflieger, bis auf Leonardo da Vinci zurück.

Da eine Schraube ein drehendes Reaktionsmoment auf den Apparat ausübt, muß für Aufhebung dieses Moments durch Anordnung von gegenläufigen Schrauben oder anderweitig gesorgt sein. Ein Schraubenflieger besteht demnach aus mindestens zwei gegenläufigen Tragschrauben, die nebeneinander (Cornu, Lèger) oder auf der gleichen Achse übereinander (Degn) angeordnet sind; ferner aus Höhensteuer und Seitensteuer. Die Steuerkräfte können selbstverständlich auch wieder durch entsprechend angeordnete Luftschrauben erzeugt werden. Von den ziemlich zahlreichen Versuchen hat keiner einen praktischen Erfolg gehabt. Die Apparate Cornu's, Lègers und anderer haben sich auf kurze Zeit mit ihrem Führer vom Boden erhoben; doch waren sie für den Dauerbetrieb zu schwach.

Die Vorwärtsbewegung wird entweder durch besondere Zugschrauben, durch schiefe Flächen, auf welche der Schraubenstrom geleitet wird (Cornu), oder am einfachsten dadurch erzielt, daß man den Tragschraubenachsen eine Neigung nach vorn gibt, wodurch sie mit einer Komponente ihre Kraft nach vorn drücken.

Bei der Vorwärtsbewegung nimmt die Tragkraft der Hubschrauben erheblich zu, wie die Versuche Riabuschinskis in Koutchino gezeigt haben, was übrigens schon aus dem allgemeinen Gesetz der Fördermenge folgt. Doch ist dann die Belastung der Schraube eine exzentrische, weil die der Fahrtrichtung entgegenlaufende Hälfte der Schraube einen weit stärkeren Luftwiderstand erfährt als die mit dem Fahrtwind rückwärtslaufende Hälfte. Für eine gleichförmige Wirkung ist eine zweiflügelige Schraube unzureichend, da der Doppelflügel in der Stellung parallel zur Fahrtrichtung einen ganz anders gelagerten und in der Größe verschiedenen Auftrieb erzeugt als in der Stellung senkrecht dazu; es müssen also mindestens vier Flügel an einer Schraube vorhanden sein.

Da ein Motorversager bei kleinen Schraubenflächen eine Katastrophe herbeiführen muß, so hat Klingenberg Schrauben mit voller Kreisbedeckung versucht. Sie stellen sich aber in Gewicht und Kraftbedarf zu ungünstig.

Schraubenflieger müßten also zwei Motoren haben, damit nicht plötzlich die ganze Motorkraft aussetzen kann.

Sie hätten den großen Vorteil einer direkten Tragkraft, die durch stärkere Inanspruchnahme des Motors sofort gesteigert werden kann und nicht in erster Linie von der Geschwindigkeit abhängt. Zum Erheben ist nur ein geringer Anlauf erforderlich, so daß man aus eingeschlossenen Räumen leichter herauskommt. Läßt man einen mäßigen Anlauf zu, so ist in Dimensionen, wie sie jetzt etwa die Aeroplane haben und mit der gleichen Motorkraft wie jene, das Erheben vom Boden voraussichtlich nicht schwer. Vielleicht hat trotz aller Schwierigkeiten das Schraubenflugzeug noch eine Zukunft.

Eine indirekte Art der Kraftausnutzung besitzt der Flugdrachen, der Aeroplan. Hier wird die Tragkraft dadurch gewonnen, daß eine große Segelfläche in schwach geneigter Stellung geradlinig und rasch durch die Luft gezogen wird. Indem hierbei die Luftmassen nach unten ausweichen, ergibt sich eine ausreichende und ökonomische

Luftförderung. Die Vorwärtsbewegung wird durch Luftschrauben hervorgebracht, welche durch Benzinmotoren betrieben werden. Der Motor wirkt also direkt nur auf die Vorwärtsbewegung, nicht auf die Tragkraft, und alles ist abhängig von der Aufrechterhaltung der für das Schweben erforderlichen relativen Geschwindigkeit. Geht diese einmal verloren — sei es durch einen Fehler in der Bedienung oder durch plötzlich auftretenden Rückenwind —, so tritt ein plötzliches Sinken ein, und auch eine stärkere Motorwirkung kann dies nicht sofort beseitigen.

Trotz dieser gefährlichen Nachteile hat der Aeroplan seit dem Jahre 1906 durch seine leichte technische Ausführbarkeit und seine ökonomische Wirkungsweise einen raschen Aufschwung genommen. Die wesentlichen Teile des Aeroplans sind:

1. Die Tragfläche; 2. die Schraube nebst Motor; 3. ein Höhensteuer; 4. ein Seitensteuer; 5. die Steuerhebel; 6. das Anfahr- und Landungsgestell.

1. Die Tragfläche ist erheblich breiter als tief. Das Verhältnis schwankt zwischen 1 : 4 und 1 : 8 (bei Doppeldeckern). Die Form der Fläche ist meist rechteckig oder trapezförmig, oft mit abgerundeten Ecken. Neuerdings vielfach mit verbreiterten, flacherliegenden seitlichen Enden.

Gebildet ist die Fläche aus einem aus Längsträgern aus Stahl oder Holz und aus leichten Querrippen bestehenden Rahmen, der beiderseits mit Stoff überzogen ist (siehe Abbildung 94 rechts). Die Profile sind meist einfach nach unten gewölbt. Wegen der Wirkung der Wölbungen siehe „Luftwiderstand".

Abbildung 92. Blériot-Flugzeug.

Der Flügel kann ohne Schaden ziemlich dick gemacht werden, und zwar kann, wie schon Lilienthal gefunden hat, die Verdickung entweder ganz am vorderen Rande liegen — was theoretisch als das Günstigste nachgewiesen wurde — oder mehr gegen die Mitte zu; im Effekt macht das keine wesentlichen Unterschiede. Neuerdings hat man auch s-förmig gekrümmte Profile angewendet, auch solche, deren hinterer Teil ($^1/_4$—$^1/_6$ der Breite) elastisch war. Die teilweise elastischen Profile verhindern die gefährliche Überlastung der Hinterkante, welche das Überkippen des Fahrzeuges herbeiführt, und machen also das Fahrzeug stabiler. Das nämliche ist bei starren s-förmigen Profilen der Fall, doch ist hierbei die Tragkraft der Flügel verringert.

Die Bedeckung der Fläche geschieht durch beiderseits aufgenagelten lackierten oder gummierten Webstoff aus Baumwolle, Leinwand oder Ramie.

Ist nur eine Tragfläche vorhanden, so nennt man das Flugzeug „Eindecker". Sind zwei oder mehr Flächen übereinander, so spricht man von Zwei-, Drei- oder Mehrdeckern. Hierbei werden die Flächen auch staffelförmig angeordnet, so daß die hinteren Flächen etwas zurückstehen.

Bei Mehrdeckern kann man konstruktiv ausgebildete Brückenträger mit Verspannungen einbauen und die Längsgurtungen bequem eindecken. Solche Flächen sind daher im Gewicht leichter — auf den Quadratmeter gerechnet —, haben aber auch eine geringere Tragkraft (Zweidecker ca. 80 % des Eindeckers).

2. Die Schraube (Konstruktion siehe Abschnitt „Luftschraube") hat einen erheblichen Zug zu liefern. Zu dem Widerstand der Aeroplanfläche tritt noch der Fahrtwiderstand der Konstruktionsteile mit rund 100 % hinzu.

Eiffel hat für verschiedene Modelle von Aeroplanen den Widerstand bestimmt. Er fand folgende Widerstände:

Eindecker Esnault Pelterie . .	21 %	des Gewichts
„ Balsan	20 %	
„ Paulhan-Tatin. . .	17 %	Minimum (siehe Abbildung 94)
Doppeldecker Farman . . .	23 %	
Eindecker Nieuport.	20 %	bei 6° Steigung.

Bei einer Steigung von 3° aber fiel das Prozentverhältnis mit der Geschwindigkeit; es war bei

5·15 m	— 25·6 %
10·10 m	— 23·8 %
15 m	— 22·5 %

Besonders bemerkenswert ist der niedrige Wert für den großen Farmanschen Doppeldecker.

Hiernach scheint des Verhältnis der Tragkraft zum Widerstand bei großen Geschwindigkeiten günstiger zu werden, was sich daraus erklärt, daß die Tragkraft der Aeroplanflächen nahezu dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional wächst, die Widerstände von Konstruktionsteilen und die Luftreibung aber mit einer geringeren Potenz. Auch ist die Luftreibung am großen Apparat kleiner als am Modell, weil das Modell kürzer ist und die rückwärtsliegenden Teile der tiefen Flächen im Mitwind liegen und dadurch weniger Reibung haben.

Steigt oder fällt der Apparat im Winkel γ, so kommt zu diesem Betrag von ca. 20 % des Gewichts noch ein Betrag infolge der Wirkung der Schwerkraft; es ist dann der Schraubenzug $n \cdot G \pm G \cdot \sin \gamma$; es bedeutet hier G das Gewicht, n das Verhältnis $\frac{\text{Schraubenzug}}{\text{Tragkraft}}$ für den horizontalen Flug, das nach Eiffel $= 0{\cdot}2$ zu setzen ist.

Beispiel: Eindecker von 500 kg Gewicht und 25 m Geschwindigkeit soll 1 m pro Sekunde steigen, $\sin \gamma = 0{\cdot}04$ also $Z = 0{\cdot}2 \cdot 500 + 0{\cdot}04 \cdot 500 = 120$ kg. Danach effektive Motorleistung beim Steigen $\frac{120 \cdot 25}{75} = 40$ P. S., beim Horizontalflug $\frac{100 \cdot 25}{75} = 33\frac{1}{3}$ P. S. Der wirkliche Kraftbedarf ist wegen der Effektverluste der Luftschraube um etwa 50 % größer.

Abbildung 93. Farman-Flugzeug.

Meist sitzt die Schraube direkt auf der Motorachse; dann ist es aber nicht möglich, mit dem Durchmesser über 2·8 m zu gehen wegen der Gefahr des Auseinanderfliegens und der großen Luftreibung; bei größerem Durchmesser ist also eine Übersetzung ins Langsame nötig. Eine Schraube übt ferner auf den Apparat ein drehendes Reaktionsmoment aus, das um so größer ist, je langsamer sie bei gegebener Motorleistung läuft. Nimmt man daher große und ins Langsame übersetzte Schrauben, was im Interesse des Effekts liegt, so wird dieses Kippmoment unbequem; deswegen wandten die Gebrüder Wright zwei gegen-

läufige Schrauben an; doch erhält man dann ein neues Moment der Unsicherheit in der Kraftübertragung (Ketten oder Winkelräder). Außerdem übt, wenn eine der Schrauben (etwa durch Auseinanderfliegen) plötzlich unbrauchbar wird, die andere ein seitlich schwenkendes Drehungsmoment aus, das den Apparat leicht ganz umwirft. An Effekt ist aber eine gute Doppelschraubenanordnung, trotz ihres höheren Gewichts und trotz der Verluste in der Kraftübertragung, der einfachen Schraube überlegen.

Abbildung 94. Eindecker Paulhan-Tatin.

Ob die Schraube am vorderen oder hinteren Ende des Flugzeuges angebracht wird, ist für die Stabilität gleichgültig. Es ist jedoch nicht vorteilhaft, wenn der von der Schraube erzeugte starke Luftstrom direkt auf voluminöse Teile des Flugzeuges trifft und einen schädigenden Widerstand erzeugt. Die Lage der Schraubenachse ist am günstigsten, wenn sie gleichzeitig mit dem Schwerpunkt der Maschine und mit dem Zentrum der Widerstände in einer Linie liegt. Ist die Lage des Achsenschwerpunktes tiefer oder höher, so wird — rein theoretisch — bei jeder Veränderung der Schraubenzugkraft das Flugzeug seine Neigung ändern, ein Umstand, dem übrigens die Steuerung auch leicht entgegenwirken kann.

3. Das Höhensteuer besteht aus einer — oder mehreren — um eine Querachse beliebig drehbaren Fläche und liegt in erheblichem Abstande vor oder rückwärts der Tragfläche. Liegt das Höhensteuer voraus, so wird meist hinter der Hauptfläche noch eine „Gegengewicht" genannte Dämpfungsfläche angebracht, welche die allzu harten Wirkungen des Vordersteuers abmindert (Abbildung 93). Die Wirkung des Höhensteuers muß mindestens so groß sein, daß es möglich ist, kippende Momente von Luftwirbeln an dem Apparate auch unter ungünstigen Umständen auszugleichen. Liegt das Höhensteuer hinter der Tragfläche, so wird es meistens an eine Dämpfungsfläche angegliedert. Hierdurch wird bei gutem Wetter die Steuerung erleichtert, bei groben Böen aber das rasche Herumreißen erschwert. (Abbildung 94.)

Sei der mittlere Stoßwinkel der Haupttragfläche gleich 6^0 — ein häufig vorkommender Wert —, beim Fluge möge er um $\pm 6^0$, d. i. zwischen 0 und 12^0 variieren, so muß der Kraftmittelpunkt um ca. 5% der Flächenbreite nach vorn und um 23% nach hinten sich verschieben.

Sei die Breite der Tragfläche b, G ihre Tragkraft, so sind die dadurch entstehenden Kippmomente $+b.G.0{\cdot}05$ und $-b.G.0{\cdot}23$.

Sei der Abstand von Mitte der Tragfläche zur Mitte der Steuerfläche gleich l, eine für den Flug sehr wichtige Dimension, welche ich die „steuernde Länge" des Flug-

zeuges nenne, so ist zum Ausgleich eine zusätzliche Kraft auf das Steuer nötig Δp_1. Das Moment dieser Kraft ist $\Delta p . l$, und man findet

$$\text{beim Abwärtssteuern } \Delta p_1 = \pm \frac{0{\cdot}05\, b . G}{l}$$

$$\text{beim Aufwärtssteuern } Ap_2 = \mp \frac{0{\cdot}23\, b . G}{l}$$

Das obere Vorzeichen gilt für ein hinteres, das untere für ein vorderes Höhensteuer, Setzen wir z. B.

$$G = 400 \text{ kg } b = 2 \text{ m}, \; l = 6 \text{ m},$$

so folgt für ein hinteres Höhensteuer ein zusätzlicher Druck

$$\Delta p_1 = +6{\cdot}7 \text{ kg}, \; \Delta p_2 = -30{\cdot}6 \text{ kg}$$

Sei z. B. der Normaldruck auf ein Höhensteuer eine Tragkraft von 16 kg, so müßte in dem betrachteten zweiten Falle ein Druck von $16 - 30{\cdot}6$ kg, d. i. ein abwärtsgerichteter Druck von 14·6 kg vorübergehend auftreten.

Eine sehr gefährliche Erscheinung sind niedergehende Luftströme. Sie bewirken, daß der Stoßwinkel plötzlich negativ wird. Dann erhalten die Tragflächen an der Vorderkante Oberdruck, während die abwärtsgewölbte hintere Hälfte Druck von unten behält. Unter gleichzeitigem Nachlassen der Tragkraft treten daher starke, vorwärtskippende Momente auf. Durch das eingeleitete Überschlagen wird aber der negative Winkel vergrößert, und dadurch wächst wieder das Kippmoment. Wenn das Höhensteuer dann nicht kräftig genug ist, um diese Wirkung zu überwinden, kann der Pilot den Absturz nicht verhindern. Hierauf sind eine ganze Anzahl Unglücksfälle zurückzuführen.

Liegt das Höhensteuer rückwärts der Hauptfläche, so bedarf es keiner besonderen Dämpfungsfläche. Der Winkelausschlag des Höhensteuers muß dann so bemessen sein, daß es sich bei einer Kurve von gegebenem kleinsten Krümmungshalbmesser ϱ von etwa 100 m der Flugbahn mit einem gewissen Spielraum anschmiegen kann. Sei l die steuernde Länge, so wird der Drehungswinkel $\gamma = \frac{l}{\varrho} \cdot \frac{180}{\pi}$ für $l = 5$ m, $\varrho = 100$ m wird $\gamma \sim 3^0$, wozu noch ein Spielraum von 3^0 tritt. Das Höhensteuer muß also einen Ausschlag von $\pm 6^0$ (Minimum) machen können. Ist das Höhensteuer hinter einer Dämpfungsfläche angebracht, so muß der Drehungswinkel entsprechend größer sein, da dann der mittlere Winkel beider Flächen zusammen als Einstellwinkel anzusehen ist.

Abbildung 95. Wright-Flugzeug mit Vordersteuer.

Liegt das Höhensteuer hinten, so arbeitet es in der von der Hauptfläche erzeugten Luftwelle; es wird dadurch stark beeinflußt, und bei zu geringer Entfernung von der

Haupttragfläche kommt überhaupt keine klare Steuerwirkung zustande. Gewöhnlich läßt man einen Zwischenraum gleich der doppelten Breite der Hauptfläche zwischen beiden. Zu Göttingen wurden Versuche gemacht, welche zeigten, daß ein solches Höhensteuer ebenso wirkt, als wenn es frei in einem etwas abwärtsgerichteten Luftstrom stände. Die Abwärtsneigung dieses Luftstroms ist etwa dem halben Einstellwinkel der Hauptfläche gleich.

Abbildung 96. Aviatik-Eindecker.

Die von vorn auf das Höhensteuer treffende Strömung wird durch die Hauptfläche also gewissermaßen gerichtet, und daher kommt auch die auffallende Erscheinung, daß ein hinteres Höhensteuer gegen vertikale Richtungsänderungen der Strömung ziemlich unempfindlich ist.

Aus Sicherheitsgründen empfehlen sich große, weitabliegende, genügend weit verstellbare Höhensteuer, deren Drehungsachse eine möglichst neutrale Lage zu geben ist, damit ihre Bedienung wenig Kraft erfordert. Sie müssen ferner sowohl nach oben als nach unten drücken können.

Rückwärtsliegende Höhensteuer erhalten zweckmäßig eine tiefe und wenig breite Form, weil diese Art bis zu hohen Einstellwinkeln hinauf gute Steuerkraft behält und dadurch der automatischen Stabilität förderlich ist.

Vordersteuer, bei denen man auf automatische Stabilität nicht rechnet, macht man ähnlich den Tragflächen breit und wenig tief (siehe Abbildung 95).

Die Größe der Steuer schwankt zwischen 15 und 25% der Tragflächen.

Man strebt bei Flugzeugen eine automatische Stabilität an. Hierzu muß die Flugbahn die der Arbeitsleistung des Motors entsprechende Neigung zum Horizont haben. Setzt der Motor aus, so muß der Apparat von selbst abwärts gesteuert werden, bei Mehrleistung aufwärts, damit die für den Aeroplan lebenswichtige Fluggeschwindigkeit erhalten bleibt; kleinere Störungen müssen ohne Eingreifen des Führers überwunden werden. Aus der Bedingung einer gleichförmigen Geschwindigkeit folgt, daß der Stoßwinkel, mit welchem die Tragfläche gegen die Luft drückt, konstant sein muß. Die selbsttätige Einstellung auf konstanten Stoßwinkel ist bei mittleren Geschwindigkeiten durch angemessen große, hintenliegende Höhensteuerflächen zu erreichen. Sie ist die erste Bedingung der automatischen Stabilität.

Bei großen Geschwindigkeiten, welche einen kleinen Einstellwinkel der Hauptfläche bedingen, ist aber die Wanderung des Kraftmittelpunktes bei geringen Veränderungen des Einstellwinkels recht erheblich; dann reicht die Einstellkraft des Schweifes nicht mehr aus, und die Apparate bedürfen eines unausgesetzten Balancierens mit dem Höhensteuer. Hier müssen also sehr große Höhensteuer angewendet werden, ohne doch den Zweck vollkommen zu erreichen.

Bisher ist es nicht gelungen, einen großen Flugapparat auch bei Böen automatisch stabil zu machen, so leicht dies auch anscheinend bei kleinen Modellen gelingt.

Der Grund ist, daß die Längenabmessungen der großen Apparate im Verhältnis zu den Kurvenhalbmessern zu groß sind. Die Apparate können daher engere vertikale Kurven ohne Hilfe des Führers nicht beschreiben.

Das Höhensteuer und die Dämpfungsflächen werden eben oder gewölbt ausgeführt. Die Wölbung ist nur dann empfehlenswert, wenn ausschließlich Drücke von unten zu erwarten sind. Andernfalls ist eine ebene Fläche besser geeignet. Apparate, die für große Geschwindigkeiten bestimmt sind, werden daher zweckmäßig mit ebenen, großen und kräftigen Höhensteuern versehen, um ein Überkippen sicher zu vermeiden.

Das Höhen- (und Seiten-) Steuer wird entweder so ausgeführt, daß es sich in Scharnieren oder Gelenken dreht, oder daß elastische, nach hinten ausstehende Rippen auf- und abgebogen werden. Sofern die Haltbarkeit hierbei nicht leidet, ist letzteres Verfahren aerodynamisch vorteilhafter.

Gefördert wird die Stabilität dadurch, daß man die schweren Massen möglichst voraus anordnet. Schwer belastete Tragflächen müssen vorn liegen, leichter belastete Höhensteuer rückwärts folgen. Beim Gleitflug hat der Apparat das Bestreben, mit den schweren Massen vorauszugehen, weil hierbei die Triebkraft in der Schwere und dem Beharrungsvermögen der Massen liegt; er wird also Neigung haben, zu kippen, wenn der Schwerpunkt zu weit hinten liegt. Dies zeigt sich schon bei jeder zufälligen Änderung der Motorleistung. Der Schwerpunkt soll auch nicht zu tief unter der Hauptfläche liegen, weil hierdurch das Pendeln begünstigt wird, ohne daß die Stabilität merklich zunimmt.

Die seitliche Lage wird nach dem Vorgange der Gebrüder Wright fast allgemein durch die sogenannte Verwindung der Haupttragflächen geregelt. Hierbei wird die Fläche so verdreht, daß der Luftstoßwinkel an einer Flügelspitze sich vergrößert, während er sich an der anderen um ebensoviel verkleinert. Dadurch wird die Tragkraft auf der einen Seite vermehrt, auf der anderen vermindert und das Flugzeug mit großer Kraft um seine Längsachse gedreht.

Abbild. 97. Aviatik-Doppeldecker. Quersteuerung durch seitliche Flächen.

Bei mehreren Flugsystemen (zuerst bei Farman) werden hierzu besondere, weit seitlich angebrachte Steuerflächen (Abbildung 97) verwendet, die entweder getrennt von den Tragflächen oder an deren hinterem Rande angebracht sind. Ihre Wirkung ist nicht so kräftig, die Herstellung und Handhabung aber bequemer

Andere Anordnungen, wie das Vergrößern der ausladenden Flächen durch seitliches Herein- oder Herausschieben der Spitzen, haben eine praktische Bedeutung nicht erlangt.

Die Regelung der Seitenneigung (Quersteuerung genannt) steht in enger Beziehung zu der seitlichen Lenkung. Wenn die Aufgabe gestellt ist, das Flugzeug in

einer horizontalen Kurve zu führen, so ist hierzu eine rechtwinklig zur Flugbahn gerichtete horizontale Kraft nötig, welche der Zentrifugalkraft gleich und entgegengesetzt ist. Diese seitlich ablenkende Kraft wird im allgemeinen dadurch hervorgebracht, daß die Tragfläche seitlich geneigt wird. Der auf der Tragfläche liegende Winddruck zerlegt sich dann in zwei Komponenten, eine vertikale, welche die Tragkraft liefert, und eine horizontale, das ist die seitlich ablenkende Kraft, welche der Zentrifugalkraft C gleich ist. Sei W der Winddruck, G das Gewicht und β der Seitenneigungswinkel, so ist

$$AC = C,\ AG = G$$

$$C = G \cdot \operatorname{tg}\beta = \frac{G \cdot v^2}{gr} \text{ oder } r = \frac{v^2}{g \cdot \operatorname{tg}\beta}$$

Beispiel: $\beta = 10^0$, $v = 20$ m/sek

$$r = \frac{400}{9{\cdot}81 \cdot 0{\cdot}1763} = 229 \text{ m}$$

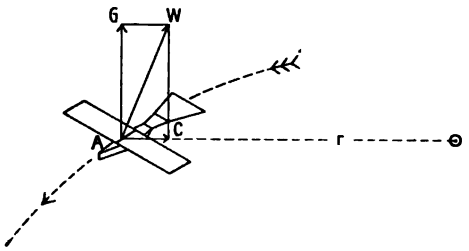


Abbildung 98. Flug in der Kurve.

Die seitliche Kraft, welche der Zentrifugalkraft das Gleichgewicht hält, kann jedoch auch durch den Luftwiderstand vertikaler Wände erzeugt werden, welche beim geraden Flug parallel zur Bahn stehen; beim Kurvenflug wird durch das Seitensteuer der Kopf in die Kurve hineingedreht. Dadurch werden die genannten Wände an der Außenseite vom Windstoß getroffen und drücken das Fahrzeug in die Kurve. Dabei wirkt auch eine Komponente des Schraubenzuges seitlich ablenkend mit.

Die Voisinschen Flugapparate mit ihren dem Zellendrachen nachgebildeten Flugflächen besitzen solche vertikalen Wände. Vereinzelt kommen auch kammartig über der Mitte stehende vertikale Flächen vor, deren Hauptwirkung allerdings darauf beruht, daß sie eine Schräglage des Flugzeuges herbeiführen.

Die automatische Stabilität nach der Seite ist ein lebhaftes Bedürfnis. In beschränktem Maße wird sie erzielt, indem man den Flächen nach oben die Form eines flachen $\vee$ gibt. Dies verursacht jedoch bei seitlichen Windstößen Schwankungen, denen ein Flugzeug mit ganz horizontalen Flächen weniger unterworfen ist. Deshalb gibt man den Flächen nur eine geringe seitliche Neigung, etwa 3^0, oder biegt nur die äußeren Flügelspitzen nach oben.

Die Einstellung der Längenachse in die Flugbahn wird durch die Seitensteuer bewirkt. Meist sind dieselben recht klein. Aber auch hier tut man gut, sie so groß zu machen, daß man eine kräftige Wirkung unter allen Umständen ausüben kann.

Die Steuerhebel bestehen aus dem Hebel für die Höhensteuerung, für Seitensteuerung und für die Quersteuerung, wozu noch die Regulierungshebel des Motors kommen.

Am gebräuchlichsten ist ein Universalsteuerorgan, bestehend aus einem nach allen Seiten ausschwingenden Hebel, welcher an seinem freien Ende ein Handrad trägt. Durch Vorwärts- und Rückwärtslegen des Hebels wird die Höhensteuerung betätigt, durch Seitwärtslegen die Verwindung, durch Drehen des Handrades das Seitensteuer. Bei Wright wird Verwindung und Seitensteuer nach Bedarf gleichzeitig oder einzeln betätigt, während für die Höhensteuerung ein gesonderter Hebel vorhanden ist. Andere Anordnungen teilen den Füßen der Piloten die Seitensteuerung zu.

Auf die Führung der Steuerdrähte, die der Sicherheit halber vielfach doppelt genommen werden, muß besondere Aufmerksamkeit gerichtet sein. Zu fordern ist auch, daß die Steuerhebel beliebig feststellbar sind, so daß der Führer bei gutem Wetter sie zeitweilig loslassen kann. Damit aber bei grobem Wetter die Steuerung nicht

schon physisch zu anstrengend wird, müssen alle Teile möglichst leicht gehen; größere Steuer müssen ausbalanciert sein.

DAS FAHRGESTELL muß das Rollen auf dem Boden mit voller Fluggeschwindigkeit gestatten und die Landungsstöße aufnehmen. Es soll gegen Umkippen nach vorn und nach den Seiten Sicherheit bieten. Hierzu wird der Apparat in breiter Basis durch gut gefederte Pneumatikräder an drei oder vier Punkten unterstützt. Als Federungsmaterial dienen Gummi- und Stahlfedern, die in besonderen Spezialausführungen geliefert werden. Gummi ist leichter, Stahl zuverlässiger. Zum Abfangen der Stöße werden bisweilen Öl- und Luftbremsen verwendet. Zeppelin benutzt bei seinem Luftschiff Luftkissen gegen den Stoß bei Bodenberührung. Die häufigste Anordnung ist: zwei Räder vorn und weit seitwärts, rückwärts ein dritter Punkt, der durch ein Rad oder eine elastische Schleife gebildet wird. Doch hat man auch vier Punkte angewendet: einen weit vorn mit einem Rad, um das Überschlagen zu verhindern, zwei links und rechts, einen hinten. Am häufigsten ist die Anordnung mit drei Punkten (Abbildung 100). Beide Vorderräder sitzen an einer durch starke Gummizüge gefederten Achse.

Abbildung 99. Flugzeug der Luftverkehrs-G. m. b. H.

Die Anordnung hat den Nachteil, daß beim Landen mit Seitenwind, wenn der Apparat sich schräg zu seiner Achse bewegt, leicht ein Abbrechen der Räder durch die Reibung am Boden stattfindet. Um dies zu vermeiden, hat man die Rollen in Gabeln einstellbar, wie an Möbelfüßen, angeordnet. Durch besondere Federn werden sie in ihrer Mittelstellung festgehalten.

Abbildung 100. Flugzeug von „Euler", Fahrgestell.

Abbildungen 92 und 101 zeigen als Beispiel für viele die Anordnung Blériots. Das Rad sitzt in einer Gabel, welche um die Längsachse des Stützrohrs drehbar und außerdem auf- und abklappbar ist. Nach oben ist es durch eine zweite Gabel gelenkig mit einer auf dem Hauptrohr verschiebbaren Muffe verbunden (Abbildung 101). Diese Muffe wird durch starke Gummizüge nach unten gehalten. Beim Aufsetzen gleitet sie nach oben. Durch zwei leichte Zugfedern, in Verbindung mit der Verbindungsstange zwischen den Rädern, sind die Räder für gewöhnlich in Normalstellung gehalten.

Die einfachste Anordnung ist diejenige Farmans. Bei dieser sind zwei Paar Räder nebeneinander an kurzen Achsen angeordnet, die mittels Gummi an einer starken Schlittenkufe gehalten werden. Außerdem sind sie mit einem vorwärtsgelegenen Punkte durch ein Universalgelenk derart verbunden, daß das Radgestell sich sowohl um die Längsachse als um die Querachse drehen kann (Abbildung 102).

Die Räder können sich daher ebensowohl den Unebenheiten des Bodens wie einer von der Mittellinie des Fahrzeuges abweichenden Fahrtrichtung anpassen. Bei stärkeren Stößen dehnt sich das Gummi derartig stark, daß die Schlittenkufe aufsetzt.

Abbildung 101. Fahrgestell von Blériot.

Abbildung 102 und andere zeigen dieses Gestell, das noch den Vorteil hat, wegen der größeren Oberfläche der vier Räder in weichen Boden nicht so tief einzusinken. Die Anfahrgestelle können mit Rücksicht auf das Gewicht nicht so fest gebaut werden, als es wünschenswert wäre. Auch die Federungen sind nicht imstande, eine mäßige Fallgeschwindigkeit aufzufangen; daher ist alles von der Geschicklichkeit des Piloten abhängig, und Beschädigungen sind häufig. Die Anordnung der Motoren und Schrauben auf den Flugzeugen bietet Schwierigkeiten. Eine allseits befriedigende Lösung gibt es bis jetzt noch nicht.

Abbildung 102. Flugzeug der Albatroswerke.

Bei den „Eindeckern" ist die verbreitetste Form die folgende: in einem gemeinschaftlichen Körper, der oft als Bootskörper ausgebildet ist, sind vorn die Schraube mit Motor — die Schraube direkt auf der Motorachse — angeordnet, dahinter als Gegengewicht rückwärts der Führer, dazwischen die Plätze für etwaige Passagiere, weiter rückwärts der Schweif. Hinzu tritt noch ein hohes Anfahrgestell. Der Schwerpunkt liegt dicht an der Haupttragfläche. Die Anordnung besitzt geringes Gewicht und ist technisch bequem, doch wirft die Schraube den Luftstrom und das Motoröl den Fahrgästen ins Gesicht. Die Beobachtung nach unten ist durch die Fläche wesentlich

behindert. Der Schwerpunkt liegt sehr hoch, daher beim Anfahren und Landen große Neigung zum Überschlagen.

Zweite Anordnung (Grade-Apparate): Motor und Schraube sitzen oben in der Fläche, die Passagiere unten; die Beobachtung nach unten ist besser, dagegen sind die Passagiere beim Landen mehr gefährdet.

Dritte Anordnung: Motoren und Sitze sind unten, die Schrauben oben, zuweilen hinter der Fläche, wie bei Dorner. Hier ist die Beobachtungsfähigkeit gut. Die Belästigung durch die Schraube fällt fort, doch ist eine Kraftübertragung vom Motor zu der Schraube nötig.

Die Hauptschwierigkeit beruht in der Anordnung der Schraube. Diese darf nicht allzu tief zum Boden herabreichen; dadurch wird aber auch der Motor, wenn die Schraube, wie meistens, direkt auf der Achse sitzt, in eine unnatürlich hohe Lage gebracht. Legt man die Schraube hinter die Haupttragfläche, so verursacht es Schwierigkeiten, mit dem Verbindungsgestänge zwischen Haupttragfläche und Steuerfläche vorbeizukommen. Legt man sie ganz nach vorn, so hindert sie die Ausbildung derjenigen Teile des Gestelles, welche das Überschlagen des Flugzeuges bei Landungen verhindern und die Schraube vor Beschädigungen schützen. In dieser Lage hat sie den Vorteil, daß sie beim Auseinanderfliegen vitale Teile nicht beschädigen kann.

Abbildung 103. Blériot-Flugzeug. Anordnung der Sitze.

Werden zwei Schrauben angewendet, wie bei Wright, so ist die Anordnung bequemer, weil die Mitte frei bleibt; dann aber hat man zwei Kraftübertragungen.

Bei vielen Zweideckern liegt der Motor in der Mitte zwischen den beiden Tragflächen, die Schrauben dahinter. Der Träger, welcher die Verbindung zwischen den Haupttragflächen und den Steuerorganen herstellt, wird so breit konstruiert, daß die Schraube zwischen den Holmen Platz findet. Die Sitze der Fahrgäste befinden sich vorwärts des Motors. Hierbei hat der Führer gute Übersicht, und die Landung wird ihm erleichtert; doch sind die Gefahren der Landung dadurch erhöht, daß der Motor hinter den Fahrgästen sich befindet und beim Aufschlagen auf den Boden auf die Personen fallen kann. Neuerdings hat man deswegen den einheitlichen Längskörper der Eindecker auch für Zweidecker angewendet. Die Öl- und Benzingefäße legt man in den Schwerpunkt des Apparats, damit beim Verbrauch der Betriebsmittel der Schwerpunkt seine Lage nicht ändert. Zur Einrichtung des Führersitzes gehören Vorrichtungen zum Aufbewahren von Landkarten, die bequem abrollbar und vor dem

Luftschiffhalle des Berliner Vereins für Luftschiffahrt.

Zu von Parseval: Luftschiffahrt.

Luftzug geschützt sein müssen; ferner bequem ablesbare Tachometer, Höhenmesser und Geschwindigkeitsmesser. Für letztere müßte ein gutes Modell erst noch gebaut werden. Auf die Bequemlichkeit des Führers und der Fahrgäste wird neuerdings mehr Rücksicht genommen (Abbildung 103).

Zum Landtransport werden die Tragflächen abnehmbar oder drehbar gemacht und der Länge nach mit dem Hauptkörper auf einem Wagen verpackt. Dann sind die Apparate leicht transportabel (Abbildung 104).

Über das Material der Flugzeuge siehe den Abschnitt „Bau der lenkbaren Luftschiffe".

Abbildung 104. Flugzeug auf dem Landtransport.

DIE ENTWICKLUNG DER FLUGZEUGE. Wenn wir die Geschichte der Flugzeuge mit dem ersten praktischen Versuch beginnen, so können wir über die Tätigkeit vergangener Jahrhunderte hinweggehen. Zwar sind die ersten Richtlinien schon von Leonardo da Vinci gegeben; aber die unzulängliche Entwicklung der Technik verhinderte den Fortschritt. Abgesehen von kleinen, mit Federkraft betriebenen Spielzeugapparaten von Tatin in Frankreich und Kreß in Wien u. a., welche Ende des 19. Jahrhunderts herauskamen, wurde nichts Greifbares geschaffen.

Der erste wirkliche Erfolg knüpft an die Tätigkeit des Deutschen Lilienthal an, welcher vom Jahre 1889 bis 1896 Versuche mit Gleitfliegern anstellte. Er war der erste, welcher einen freien Schwebeflug wagte, und sein großes Verdienst ist die Ausbildung einer Versuchsmethode, welche später in der Hand seiner Schüler zu einem praktischen Ergebnis führte.

Sein Apparat bestand anfangs aus einer gewölbten Tragfläche ohne Steuer und Schweif, in deren Mitte sich der Flieger befand. Die Lenkung wurde durch Verschiebung des Schwerpunktes bewirkt. Mit diesem Apparat machte Lilienthal von einem hochgelegenen Punkt gegen den Wind kurze Gleitflüge, die nach und nach gesteigert wurden. Später ging er zum Doppeldecker über, indem er oberhalb seiner Tragfläche eine zweite kleinere anbrachte, und verwendete auch eine rückwärtsliegende horizontale Dämpfungsfläche und einen vertikalen Schweif. Leider verunglückte er jedoch im Jahre 1896 und konnte seinen Plan, einen Motor in den Gleitflieger einzubauen, nicht mehr ausführen. Durch seine mit geringen Geldmitteln ausgeführten Laboratoriumsversuche erwarb er sich auch theoretisch um die Klärung der einschlägigen Fragen große Verdienste. Die Resultate seiner Forschungen sind niedergelegt in „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegerkunst", Berlin 1899.

Nach dem Tode Lilienthals ruhten die praktischen Versuche in Deutschland längere Zeit.

Ein sehr bedeutender, wenn auch nicht erfolgreicher Versuch in England war das Aeroplan von Hiram Maxim (1894), der größte und schwerste aller bisher gebauten. Er wog 3500 kg und besaß 540 qm Tragflächen in mehreren Etagen. Angetrieben

ward er von zwei Luftschrauben mit zwei Dampfmaschinen mit Oberflächenkondensation von zusammen 360 P. S. An der genialen Konstruktion waren namentlich der aus dünnen Rohren bestehende, mit Öl geheizte Dampfkessel, die Ausbildung der Tragflächen als Oberflächenkühler, die Anwendung eines Kreisels in Verbindung mit einem Pendel zur selbsttätigen Regelung des Höhensteuers bemerkenswert.

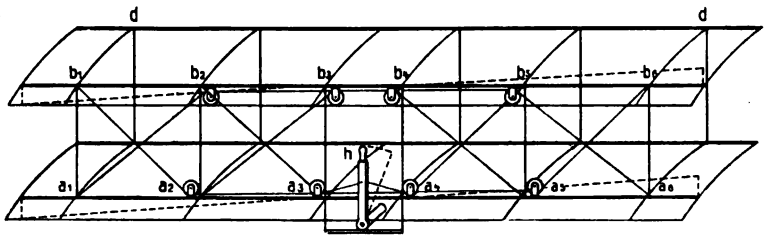


Abbildung 105. Wrightsche Verwindung.

Der Apparat lief auf Rädern in U-Schienen, welche ein Aufsteigen verhindern sollten, machte sich jedoch durch Verbiegen der Radachsen frei und wurde nach kurzem Flug durch eine unglückliche Landung zerstört. Wie jeder Versuch, eine ganze Entwicklungsreihe zu überspringen, mußte auch dieser scheitern. Er zeigte indessen zum erstenmal, daß es möglich ist, bedeutende Lasten auf dynamischem Wege in die Luft zu erheben.

In Amerika wurden von den Gebrüdern Wright die Versuche Lilienthals mit praktischem Erfolge fortgesetzt. Diese erkannten, daß die Lenkung des Flugzeuges durch Verschiebung des Schwerpunktes unausführbar sei, und gingen zur Anwendung eines Höhensteuers über, welches sie vorwärts der Tragfläche anordneten. Um große Flächen anwenden zu können, bauten sie ihren Apparat als Zweidecker. Sehr bald sahen sie sich genötigt, Einrichtungen zur Bekämpfung der seitlichen Schwankungen zu treffen. Zu diesem Zweck erfanden sie die Verwindung.

Die Abbildung 105 zeigt die Wrightsche Verwindung. Das Gerippe ist nach der üblichen Kastenkonstruktion gebaut, mit zwei vertikalen Querträgern in den Ebenen dd und $a_1 a_2 a_3 a_4 a_5$, $b_1 b_2 b_3 b_4 b_5$. Der vordere dieser Träger ist starr verspannt — hier sind die Diagonalen nicht eingezeichnet —, der hintere Träger kann schiefgezogen werden. Von dem Hebel h läuft ein Seil über die Rollen bei $a_2 a_3 a_4 a_5$ mit über Rollen laufenden Abzweigungen nach $b_1 b_2 b_5$ und b_6; ein zweites Zugorgan geht von a_1 über $b_2 b_3 b_4 b_5$ nach a_6 mit Abzweigungen von b_3 nach a_2 und von b_4 nach a_5. Wird der Hebel h seitwärts bewegt, z. B. nach rechts, so verkürzen sich zunächst auf der linken Seite die Diagonalen $a_3 b_2$ und $a_2 b_1$, und gleichzeitig verlängern sich die Diagonalen $a_1 b_2$ und $a_2 b_3$, dadurch wird die linke Hälfte des Trägers nach unten gezogen. Hierdurch werden aber auch auf der linken Seite die Strecken $a_1 b_2$ und $a_2 b_3$ verlängert und die Strecken $b_4 a_5$ und $b_5 a_6$ auf der rechten Seite verkürzt, und gleichzeitig werden durch die Bewegung des Hebels h die Diagonalen $a_4 b_5$ und $a_5 b_6$ verlängert. Dadurch wird der Längsträger auf der linken Seite nach unten, auf der rechten Seite in die Höhe gezogen, indem die rechteckigen Felder sich schiefziehen. Da nun der vordere Träger seine Gestalt nicht ändert, entsteht eine verwundene Tragfläche, wobei sich die hölzernen Querrippen um weniges verbiegen.

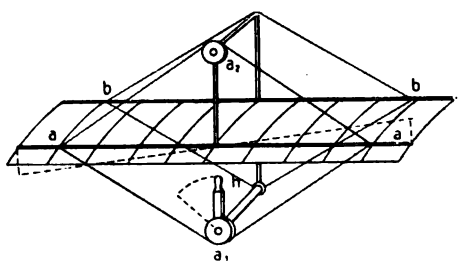


Abbildung 106. Verwindung eines Eindeckers nach Esnault-Pelterie.

Die Abbildung 106 zeigt die weit einfachere Verwindungsvorrichtung eines Eindeckers nach Esnault-Pelterie.

Von den beiden Querholmen der Tragfläche bb und aa ist der vordere bb nach unten und oben fest verspannt, der hintere dagegen ist auf- und abschwingbar angeordnet. Zu diesem Zweck greift das untere Halteseil bei a_1 um eine Rolle, z. B. eine Kettenrolle, welche durch den Hebel h gedreht wird, so daß das Seil sich nach rechts und links hin und her schieben muß. Das obere Halteseil läuft bei a_2 über eine Rolle und zwingt den Flügel, der Bewegung zu folgen.

Abbildung 107. Flugmaschine Wright.

In der Verwindung hat man ein sehr kräftiges Mittel, den Apparat um seine Längsachse zu drehen, eine Tätigkeit, für die man den Ausdruck „Quersteuerung" erfunden hat. Da jedoch bei Betätigung der Verwindung der Apparat auch um die Vertikalachse seitwärts gedreht wird, und zwar nach rechts, wenn er sich links seitwärts neigt, also in einer dem Zweck entgegengesetzten Richtung, so ordneten die Wrights Vertikalsteuer (Abbildung 107) an, welche gleichzeitig mit der Verwindung betätigt werden. In der ersten Form besaß demnach der Wright-Apparat ein vornliegendes Höhensteuer, eine Verwindung der Hauptfläche und hinter derselben zwei nebeneinanderliegende schmale Seitensteuer.

Nachdem die Wrights das Steuern des Gleitfliegers erlernt hatten, gingen sie daran, einen Motor mit Luftschrauben einzubauen. Sie wendeten zwei gegenläufige, mit Ketten angetriebene Propeller an; eine der in Stahlröhren geführten Ketten war gekreuzt; der Motor stand seitlich neben dem Flugzeugführer.

Abbildung 108. Flugzeug „Santos Dumont".

Eine besondere Eigentümlichkeit war die Start- und Landungsvorrichtung, die sich allerdings nicht behauptet hat.

In Gang gesetzt wurde der Apparat durch ein Antriebsgewicht mittels eines über Rollen geführten Seiles; hierbei lief er mittels kleiner Räder auf einer Anlaufschiene. Die Landung fand auf hölzernen Schlittenkufen statt. In dieser Form kam der lange geheimgehaltene Apparat an die Öffentlichkeit.

Während jedoch die Gebrüder Wright in Amerika in aller Stille ihren Aeroplan ausbildeten, war auch in Frankreich die Entwicklung vorwärtsgeschritten. Die fran-

zösische Methode bestand darin, den auf leichtlaufende Räder gesetzten Apparat mittels der Schraube, ohne Anwendung einer besonderen Startvorrichtung, auf seine Fluggeschwindigkeit zu bringen. So konnte man allmählich mit der Geschwindigkeit in die Höhe gehen und sich an die Verhältnisse gewöhnen. Bald entstanden regelrechte Fliegerschulen.

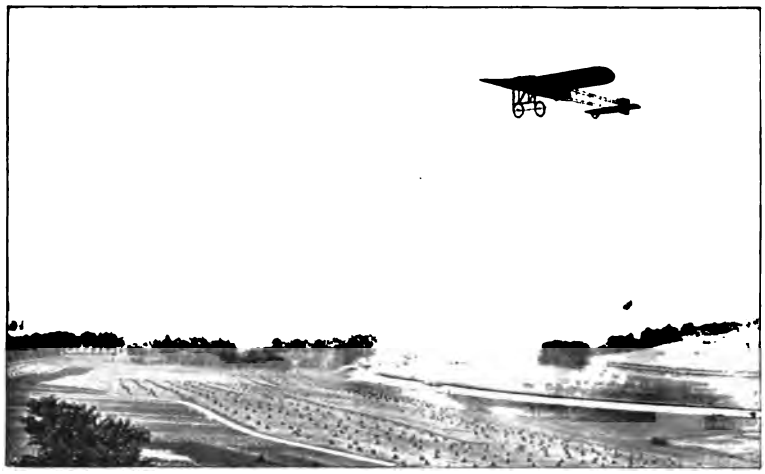


Abbildung 109. Blériot auf dem Kanalflug.

Den ersten Erfolg hatte Santos Dumont (Abbildung 108), welcher am 13. Oktober 1906 den ersten öffentlichen, von einer Sportbehörde beglaubigten Flug von 200 m Länge ausführte. Sein Apparat war dem Zellendrachen Hargraves nachgebildet; er besaß eine Haupttragzelle und eine rückwärtsliegende Stabilisationszelle, welche durch Verdrehen zur Steuerung benutzt wurde. Der Bau solcher Maschinen wurde von den Brüdern Voisin aufgenommen, als deren Pilot zunächst Heinrich Farman tätig war.

Der Voisinflieger kann als Vorfahr der modernen französischen Zweidecker gelten. Er besteht aus einer Haupttragzelle, einer dahinterliegenden Dämpfungszelle und aus einem den Wrights nachgeahmten vorausliegenden Höhensteuer. Die Schraube liegt hinter der Hauptzelle direkt auf der Motorachse. Der Sitz des Fliegers befindet sich in Höhe der Vorderkante der Haupttragzelle. Eine Verwindung besaßen die Voisinflieger nicht, sondern nur Seitensteuer. Beim Nehmen von Kurven mußte, sofern sich der Apparat nicht von selbst schräg legte, der Seitendruck auf die vertikalen Flächen der Zentrifugalkraft das Gleichgewicht halten, doch erwies sich die Maschine nicht wendig genug.

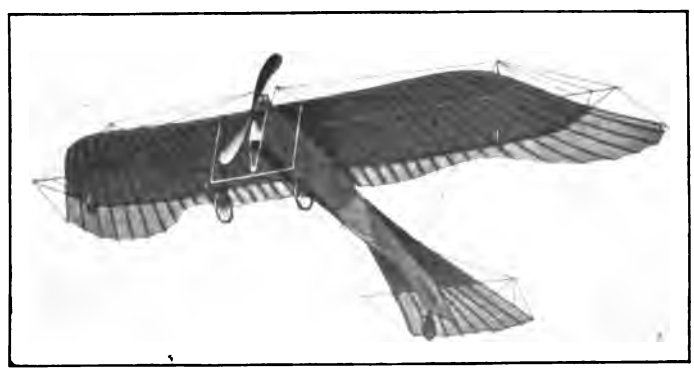


Abbildung 110. Etrich-Rumpler-Taube.

Farman trennte sich nach einiger Zeit von den Voisins und bildete den unter seinem Namen bekannten Zweidecker aus. Die vertikalen Flächen der Tragzellen wurden, weil sie den Flug zu stark verlangsamten, entfernt, eine Quersteuerung eingeführt, indem die am weitesten rechts- und linksliegenden Teile des Hinterrandes der Flächen auf- und abklappbar gemacht wurden, und das Anfahrgestell zweckentsprechend ausgebildet.

Gleichzeitig war Louis Blériot an der Ausbildung des Eindeckers tätig. Namentlich die Schwierigkeiten der Führung bereiteten hier viel Aufenthalt. Nach vielen

Fehlschlägen gelang es ihm jedoch als dem ersten, den Ärmelkanal von Calais bis Dover zu überfliegen, worauf seine Flugzeugfabrik einen bedeutenden Aufschwung nahm und heute mit an der Spitze der gesamten Industrie steht (Abbildung 109).

Unter den sonstigen französischen Pionieren ist noch Hauptmann Ferber zu nennen, der namentlich theoretisch gearbeitet hat. Dieser erlitt am 22. September 1909 beim Sturz mit einem Zweidecker in Boulogne-sur-Mer den Tod.

Abbildung 111. Etrich-Rumpler-Taube.

Außerdem ist unter den Pionieren erwähnenswert der Eindecker der Gesellschaft Antoinette und derjenige von Esnault-Pelterie, dessen Verwindung in Abbildung 106 erwähnt ist. Eine große Anzahl von Ein- und Zweideckern, mehr oder minder gelungene Nachahmungen der vorgenannten, sind seither aufgetaucht. Hiervon sind in erster Linie zu nennen: Nieuport, der einen überaus schnellen Eindecker gebaut hat, Déperdussin und Bréguet.

Eine durchaus selbständige Konstruktion ist der von Etrich-Wels in Österreich konstruierte Eindecker (Abbildung 110). Die Flugfläche ist der Zannoniaform — der Flugsame einer südamerikanischen Pflanze — nachgebildet. Die seitlichen Spitzen der Flügel sind nach rückwärts gezogen und so verdreht, daß sie in ihren äußeren Teilen Rückendruck erhalten. Zur Quersteuerung werden die Spitzen gleichzeitig in entgegengesetztem Sinne verdreht. Dadurch wird auf der der Innenseite der Kurve zugewendeten Seite des Apparats der Fahrtwiderstand erhöht, auf der Außenseite vermindert, so daß das Flugzeug entsprechend gedreht wird, wenn sich der Apparat in die Kurve legt. Die Hinterkante des ganzen Flügels ist elastisch gemacht und federt. Dadurch wird die Wanderung des Druckmittelpunkts verringert und die Stabilität erhöht. Die angewendete, wenn auch nur geringe Elastizität der Fläche bewirkt so einen

Abbildung 112. Grade-Flieger.

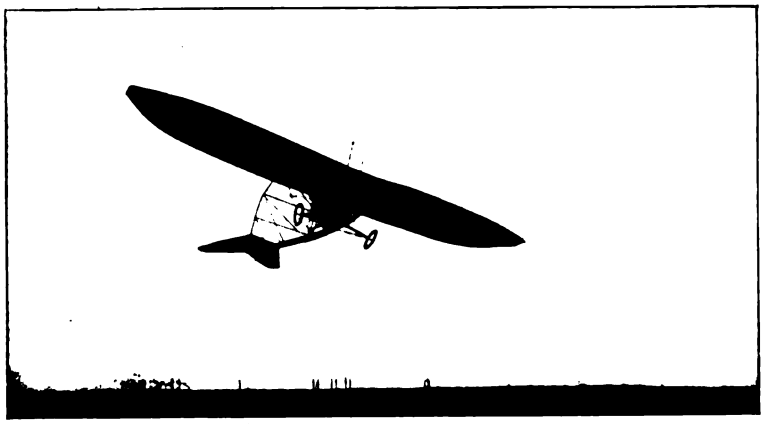


Abbildung 113. Dorner-Eindecker.

Abbildung 114. Albatroswerke.

Abbildung 115. Albatroswerke.

sanfteren und gleichmäßigeren Flug. Erwähnenswert ist noch die große horizontale Stabilisierungsfläche, welche allerdings die Wirkung der Zannoniaform in bezug auf die Höhensteuerung vollkommen aufhebt (Abbildung 111). Diese so vielfach nachgeahmte Konstruktion besitzt eine beschränkte automatische Stabilität. Die sonstige Einrichtung ist die übliche der Eindecker.

In Deutschland hat sich das Flugwesen langsamer entwickelt als in Frankreich, doch steht die Industrie nur in der Menge, nicht in der Güte der Erzeugnisse zurück.

Unter den Pionieren der deutschen Flieger sind zu nennen: Grade (Abbildung 112), Dorner (Abbildung 113); außer diesen haben größere Fabriken die Werke von Euler, Albatros (Abbildung 114 und 115), Aviatik, Luftverkehrs-Gesellschaft und andere. Einen Zweidecker mit einem Eindeckerboot zeigt die Abbildung 114 und 115.

Eine zweite Art der Flugzeuge bezweckt das Anlaufen auf einer Wasserfläche. Gelungene Versuche in dieser Beziehung sind in Frankreich zuerst von Fabre ausgeführt worden. Sein Fahrzeug ist mit drei großen scheibenförmigen Schwimmern ausgerüstet. Die gegen das Wasser drückende Fläche war aus einer elastischen Membran gebildet.

Auch in Amerika sind geglückte Versuche mit schwimmenden Apparaten zu verzeichnen, namentlich seitens des Amerikaners Curtiß. Sein Flugzeug, ein Zweidecker, ist mit einem langen Mittelboot und zwei seitlichen Auslegern versehen. Er soll damit auf

der Wasseroberfläche mit einem Motor von 75 P.S. eine Geschwindigkeit von 75 km, in der Luft eine solche von 90 km erreicht haben, und die Apparate sollen auch bei mäßigem Seegang brauchbar sein. Die amerikanische Marine hat sich an diesen Versuchen beteiligt. Die Gebrüder Wright haben gleichfalls ein solches Wasserflugzeug konstruiert, und in allen größeren Staaten wird zurzeit eifrig an diesen Apparaten gearbeitet.

11. FAHRTECHNIK

FREIBALLON. Die Aufgabe der Führung ist es, den Freiballon eine bestimmte Zeit in der Luft zu erhalten und zu dem gewollten Moment zur Landung zu bringen.

Als Hilfsmittel dienen der Höhenmesser, das sogenannte Aneroidbarometer, und das Variometer zum Erkennen kleiner Höhenänderungen.

Temperaturmessungen werden nur zu wissenschaftlichen Zwecken vorgenommen.

Der Ballon wird zur Füllung, mit seinem Netz vereint, flach auf dem Boden ausgebreitet. Mit dem Fortschreiten der Füllung werden ringsherum Sandsäcke in die Netzmaschen gehängt, die immer tiefer kommen und sich schließlich am Ringe vereinigen.

Der fertige Ballon wird abgewogen, d. h. so schwer gemacht, daß er gerade schwebt. Demnächst wird nach Bedarf Ballast ausgegeben.

Der während des Abwiegens verschlossene Füllansatz muß vor dem Loslassen geöffnet werden. Das Kommando zum Loslassen gibt meist nicht der Führer, sondern ein mit Leitung des Aufstiegs beauftragter Sachverständiger.

Bei der Auffahrt ist die Möglichkeit, an hohe Gegenstände in der Nähe anzustreifen, wohl zu beachten, da die Luft in Erdnähe bei Wind meist mit unberechenbaren Wirbeln erfüllt ist, welche den Ballon oft überraschend zu Boden drücken. Deshalb muß dafür gesorgt sein, in kürzester Frist genügend Ballast auswerfen zu können. Die Außerachtlassung dieser Vorsicht hat wiederholt tödliche Unglücksfälle zur Folge gehabt.

Beim Steigen dehnt sich das Ballongas aus, bis der Ballon prallvoll ist. Nunmehr geht fortgesetzt Tragkraft verloren, indem das Gas durch den offenen Füllansatz entweicht. In diesem Zustande hebt der Ballon sich um ca. 80 m, wenn er um 1 % seines Gewichts erleichtert wird. Dabei ist der Ballon unstabil, d. h. er schwimmt nicht dauernd in einer bestimmten Höhe, sondern er überschreitet zunächst um einiges seine Gleichgewichtslage, verliert dadurch zuviel Gas, kommt wieder ins Fallen und setzt diese Bewegung bis auf den Boden fort, wenn nicht Ballast ausgeworfen wird, worauf sich das Spiel wiederholt. Nur in Ausnahmefällen, wenn die Luft in der Höhe verhältnismäßig warm ist und der Ballon beim Fallen eine kühle und schwerere Luftschicht findet, z. B. an der oberen Seite einer Wolkendecke oder nachts in der Nähe des Bodens, fällt der Ballon nicht durch, sondern schwimmt in einer bestimmten Höhe. Hierbei folgt er den eigentümlichen Wellen, die sich an der Trennungsfläche zweier übereinanderliegender, sich kreuzender Luftströme ausbilden, und beim Übergang von einer Strömung zur anderen empfindet man — eine Seltenheit im Ballon — einen deutlichen Wind.

Bei dem Höhenwechsel wird aber das Gas infolge der Ausdehnung bzw. Kompression abgekühlt oder erwärmt, und zwar, falls keine Wärme von außen zu- oder abgeführt wird, ungefähr um 0,8° auf 100 m; ist die Veränderung der Außentemperatur nicht die nämliche, so entsteht eine Temperaturdifferenz, die den Auftrieb des Ballons verändert.

Weit wichtiger ist die Wärmestrahlung. Sonnenschein bewirkt starke Erwärmung, unter Umständen bis 40° C über die Lufttemperatur. Auch die von der Erde aus-

gehende Wärmestrahlung ist sehr fühlbar. Über Wasserflächen, Wäldern, Sümpfen hat der Ballon Neigung zum Fallen; man sagt, diese Gegenstände ziehen den Ballon an.

Die Einflüsse der Temperatur sind außerdem verschieden, je nachdem der Ballon voll Gas ist oder nicht. Wir nehmen zunächst an, daß die Temperatur der Außenluft konstant bleibt. Ist der Ballon voll Gas, so wirkt eine Erwärmung wie eine Verdünnung des Traggases. Der überschießende Teil des Traggases tritt aus, und der Ballon wird steigen, da die Verdünnung des Traggases ihn leichter macht. Bei Wasserstoffgasfüllung ist dieses Steigen ein minimales, weil das Gas ohnehin schon sehr leicht ist. Sehr merklich ist es bei Leuchtgas. Hier kann ein Ballon seine „berechnete" Maximalhöhe durch die Erwärmung erheblich überschreiten.

Bei der Abkühlung des Gases wird der Ballon pro Grad um den Betrag von $\frac{1}{273+t}$ seines Volumens kleiner, wobei t die Temperatur in Celsiusgraden bedeutet, und in demselben Maße sinkt seine Steigkraft. Bei warmem Wetter ist 1° Abkühlung also mit etwas weniger Auftriebsverlust verbunden als bei sehr kaltem. Ist der Ballon durch Gasverluste schlaff geworden, und kann nunmehr das Gas in der Hülle sich ausdehnen, so hat die Erwärmung denselben Effekt wie die Abkühlung, weil jetzt bei der Ausdehnung kein Gas verloren geht. Die Steigkraft wächst pro Grad proportional der Größe $\frac{1}{273+t}$. Ist die Temperatur der Außenluft veränderlich und die Gastemperatur konstant, so bleibt zwar das Gasvolumen gleichfalls konstant. Mit der Temperatur der Außenluft verändert sich jedoch die Dichte derselben und somit das Gewicht der verdrängten Luft, d. i. die Steigkraft des Ballons. Bei Erhöhung der Temperatur um 1° sinkt der Bruttoauftrieb um den $\frac{1}{273+t}$ten Teil. Bei der Abkühlung der Außenluft findet umgekehrt Erhöhung der Tragkraft statt, z. B. wenn Ballons aus einer warmen Luftschicht beim Fallen in eine kältere eintreten, was besonders häufig bei Nachtfahrten vorkommt. Hierbei schwimmen die Ballons längere Zeit auf der kalten Luftschicht. Außerdem haben auf- und niedersteigende Luftströmungen großen Einfluß auf die Höhenlage. Unter Umständen kann der Ballon trotz Überlastung steigen oder, trotzdem er Auftrieb hat, fallen. Dann kann man aus dem Verhalten ausgeworfener Papierschnitzel oder Flaumfedern erkennen, ob die vom Barometer angezeigte Höhenänderung durch die Steigkraft des Ballons verursacht wird oder durch auf- und niedergehende Luftströmungen.

Sei w die Geschwindigkeit des vertikalen Luftstroms in Meter, so ist die vertikale Kraft

$H = w^2 . \frac{\gamma}{g} . \frac{1}{3} F$, wo F = Ballonquerschnitt, $\frac{\gamma}{g}$ = Masse des Kubikmeters Luft.

Beispiel:

Ballon von 10 m Durchm., Volumen 523 cbm, $F = 78{\cdot}5$ m, $w = 4$ m/sek, $\frac{\gamma}{g} = \frac{1}{8}$, $w = 4$ m

$$P = 16 . \frac{1}{8} . \frac{1}{3} . 78{\cdot}5 = 53 \text{ kg}$$

Der Ballon wird dadurch um ca. 800 m über seine Gleichgewichtslage gehoben. Solche Fälle sind beobachtet.

Aus der gleichen Formel kann man die Fallgeschwindigkeit eines überlasteten Ballons bei ruhiger Luft finden. Würde man den obigen Ballon durch Auslassen von Gas um 53 kg überlasten, so ergibt sich eine Fallgeschwindigkeit von 4 m/sek.

Dies entspricht einem Aufstoß auf den Boden, wie wenn jemand aus 82 m Höhe herabspringt.

Größere Ballons werden durch aufsteigende Luftströmungen weniger stark beeinflußt, jedoch fallen sie bei verhältnismäßig gleichem Gasverlust rascher als kleine.

Die Aufgabe der Führung ist es, diesen Verhältnissen Rechnung zu tragen und das Fahrzeug mit dem geringsten Ballastaufwand flottzuhalten. Sinkt der Ballon, so wird er durch die eintretende Verdichtung des Gases schlaff und faltig; zu gleicher Zeit saugt er durch den Füllansatz Luft an. Der schlaffe Ballon, in welchem so viel Raum ist, daß das Gas sich unbehindert ausdehnen kann, ist nun außerordentlich unstabil, weil eine Gasmasse stets den der Temperatur entsprechenden Auftrieb behält, solange sich ihre Masse nicht verändert. Bringt man ihn daher durch Ballastausgabe wieder zum Steigen, so erhebt er sich, falls nicht besondere Zwischenfälle eintreten, bis zu seiner Prallhöhe, unter Umständen Tausende von Meter; erst dann beginnt wieder Gas aus dem Füllansatz zu entweichen, was den Aufstieg beendigt. Als Regel gilt, möglichst wenig Ballast zu opfern, langsam zu steigen und das Fallen rechtzeitig durch geringes Ballastgeben zu verhindern.

Eine große Gefahr bilden Gewitter; gelangt der Ballon in eine Blitzbahn, so kann er vollkommen zerstört werden. Man muß daher durch rechtzeitige Landung ausweichen.

In der Regel ist die Luftbewegung dem Ballon, solange er frei schwebt, nicht gefährlich, da er ruhig mit dem Winde dahinzieht; doch können Luftbrandungen, welche sich an hohen Gebirgszügen bilden, oder Windhosen dem Führer die Herrschaft über sein Fahrzeug rauben. Wiederholt sind Ballons in solche Lagen gekommen. Das Fahrzeug wird heftig auf und ab gewirbelt, ohne daß Ballast oder Ventil einen merklichen Einfluß haben, der Korb schwankt manchmal so stark, daß die Gefahr des Herausfallens eintritt. Flaut der Wirbel endlich ab, so nötigt der Gasverlust zu einer unfreiwilligen Landung.

Der Wechsel von Tag und Nacht ist für den Ballon kritisch. Die abendliche Abkühlung kann nur durch große Ballastopfer ausgeglichen werden. Viel leichter ist es daher, aus der Nacht in den Tag zu fahren, als umgekehrt.

Eine freiwillige Landung wird entweder durch Ventilziehen herbeigeführt, oder man überläßt den Ballon seiner natürlichen Neigung zum Fallen. Von vornherein muß sich der Führer so viel Ballast zurückbehalten, daß er den Aufstoß auf den Boden genügend lindern und die Fahrt fortsetzen kann, falls sich kein geeigneter Landungsplatz findet. Aus je größerer Höhe die Landung erfolgt, um so weniger kann man die Verhältnisse vorher beurteilen, und um so mehr Ballast muß man reservieren, namentlich wenn eine Wolkenschicht durchfallen werden muß, welche die Erde den Blicken verbirgt.

In der Nähe der Erde handelt es sich darum, in der Windrichtung einen geeigneten Landungsplatz zu finden. Man bevorzugt offenes, ebenes, nicht steiniges Gelände, sucht Flurschaden zu vermeiden und sieht auf die Nähe von Wegen oder Eisenbahnen zum Abtransport des Materials. Auch kann man den Ballon eine Zeitlang am Schleppseil weitertreiben lassen; doch hat dies seine Gefahren, weil das Schleppseil leicht Sachbeschädigungen oder Verletzungen von Personen herbeiführen kann, auch ein Hängenbleiben an Bäumen oder Felsen möglich ist. Die Landung bei starkem Winde kann sehr gefährlich werden, sie erfordert dann raschen Entschluß und energisches Handeln. Es kommt darauf an, den vom Winde über das Gelände geschleiften halbvollen Ballon rasch aufzureißen und die Fahrt zu beendigen.

Bei sehr starkem Sturm kann eine Landung im Walde die Rettung sein, wo die Baumwipfel den Stoß mildern; meistens wird man aber eine Landung im Walde wegen der damit verbundenen Beschädigung des Materials und der Schwierigkeit der Bergung lieber vermeiden.

Eine Anzahl tödlicher Unfälle sind auf die Tollkühnheit der Führer zurückzuführen, welche sich bei Wettfahrten nicht gescheut haben, ins offene Meer hinauszutreiben, indem sie damit rechneten, daß der Wind in der beobachteten Richtung konstant bleiben oder eine der Zyklonenbahn entsprechende Drehung erfahren und sie wieder über Land treiben würde. Da aber die Wettervoraussage noch immer höchst unsicher ist (es kann sich durch Verschiebung des Druckes in der Atmosphäre der Wind ganz plötzlich ändern), und da man nicht weiß, ob der Ballon nicht in lokale Erscheinungen gelangt, die ihn seiner Tragkraft vorzeitig berauben, so ist das Gelingen einer solchen Unternehmung ein reiner Glücksfall.

Auch das Ausfahren des Ballons bis auf das letzte Körnchen Ballast bei den Wettfahrten, wobei oft noch alles irgend Entbehrliche, Schleppseile, Ausrüstungsstücke usw. weggeworfen wird, war Ursache tödlicher Unglücksfälle, indem die Führer beim Landen hilflos in heftigen Sturm oder ungünstiges Terrain gerieten.

Leichter zu vermeiden sind die Gefahren, welche das Aufsteigen in zu große Höhen mit sich bringt, zumal gewöhnlich die Ballons viel zu klein sind, um jene lebensgefährlichen Regionen zu erreichen. In großen Höhen ist, außer der Kälte, die Verdünnung der Luft gefahrbringend, denn in der dünnen Atmosphäre führen die Atemzüge dem Organismus nicht mehr genügend Sauerstoff zu, und es tritt eine für das Gefühl zunächst nicht merkliche Verlangsamung der Lebenstätigkeit ein. In Höhe von 5000 m fangen die Kräfte an, merklich nachzulassen; Kopfschmerz, Schwindel und Apathie treten auf, sowie Unfähigkeit zu körperlichen Anstrengungen. In noch größeren Höhen stellen sich Ohnmachten ein, die zum Tode führen können. Man hat diese Erscheinungen durch Einatmen von in komprimiertem Zustande mitgeführtem reinem Sauerstoff mit Erfolg bekämpft. Am 31. Juli 1901 erreichten Berson und Süring die größte bisher von Menschen erstiegene Höhe; die letzte Ablesung der Instrumente erfolgte bei 10 500 m Höhe, wobei beide Ballonfahrer in Ohnmacht fielen. Aus dem Barogramm ergab sich eine Maximalhöhe von 10 800 m. Die Luftschiffer erwachten nach dreiviertel Stunden und fanden den Ballon in einer Höhe von 5500—6000 m in raschem Fall begriffen. Ein Gefühl großer Mattigkeit machte zunächst jede Arbeit unmöglich: doch gelang es in tieferen Luftschichten, die Führung des Ballons wieder in die Hand zu bekommen.

Um die Sauerstoffatmung unter allen Umständen zu sichern, bedeckt man neuerdings das Gesicht mit einer Maske und leitet den Sauerstoff in den Zwischenraum von Gesicht und Maske.

Doch erfordert die Ersteigung der großen Höhen ungewöhnlich große Ballons, wobei die Unterbringung und bequeme Handhabung der Ballastmassen ernsthafte Probleme bilden.

Über die „Orientierung", welche bei nebligem Wetter oft große Schwierigkeiten bereitet, siehe bei den „Lenkbaren Luftfahrzeugen".

Die Sicherheit des Freiballonfahrens ist bei Beobachtung der nötigen Vorsichtsmaßregeln, und sofern nicht Ausnahmsleistungen erstrebt werden, eine ganz befriedigende und ermöglicht einen ungestörten Genuß der großartigen Eindrücke.

LENKBARE LUFTFAHRZEUGE. Bei lenkbaren Luftfahrzeugen ist die ersteigbare Höhe weit geringer als bei Kugelballons. Während bei letzteren die Regelung

der Höhenlage die beinahe einzige Sorge des Führers bildet, tritt bei jenen die Lenkung in der horizontalen Ebene in den Vordergrund. Hierbei treten sie aber mit den Luftströmungen in Wettbewerb. Ihre eigentliche Aufgabe ist daher der Kampf mit dem Winde. Wenn es sich darum handelt, eine bestimmte Strecke AB zurückzulegen, so wird die Spitze des Schiffes meist nicht direkt auf das Ziel B gerichtet sein können, weil der Wind eine seitliche Abtrift erzeugt, welcher durch entsprechende Schrägstellung der Schiffsachse entgegengewirkt werden muß. Angenommen, das Schiff würde ohne eigene Fahrt vom Winde in der Richtung AC abgetrieben, es soll aber in der Richtung AB fahren. Hierbei stellt AC nach Richtung und Größe die Windgeschwindigkeit dar. Um nun den Winkel zu finden, in welchen die Schiffsachse eingestellt werden muß, damit das Schiff in der Richtung AB fährt, nehmen wir die bekannte Fahrgeschwindigkeit des Schiffes in den Zirkel und schlagen einen Kreis um den Punkt C. Dann kann dreierlei eintreten (Abbildung 116):

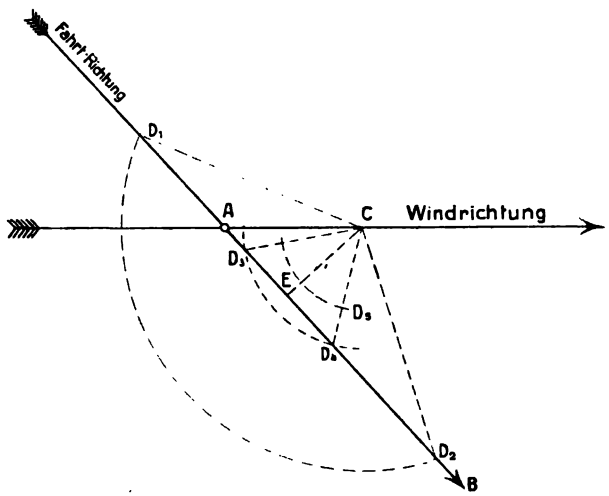


Abbildung 116. Zusammenhang von Windrichtung und Eigengeschwindigkeit eines Luftfahrzeuges.

1. Die Eigengeschwindigkeit ist größer als die Windgeschwindigkeit. Dann schneidet der Kreis die Linie AB in zwei Punkten rechts und links von A in D_1 und D_2. Ziehen wir nunmehr die Geraden CD_1 und CD_2, so gibt dies zwei Richtungen, welche man dem Schiff geben muß, damit es sich in der Geraden AB bewegt; ist die Achse parallel mit CD_2, so fährt das Schiff von A gegen B; ist sie parallel CD_1, so fährt es in umgekehrter Richtung. Die Länge der Strecken AD_1 und AD_2 stellt hier die jeweilige Marschgeschwindigkeit des Schiffes, am Bogen gemessen, dar. Um die Größe von AD_1 und AD_2 zu finden, die wir mit v_1 und v_2 bezeichnen, fällen wir noch die Senkrechte CE. Dann ist

$$AD_1 = ED_1 - AE$$
$$AD_2 = ED_2 + AE$$

Ferner ist

$$ED_1^2 = ED_2^2 = CD^2 - EC^2$$

und

$$EC = AC \sin \varphi$$
$$AE = AC : \cos \varphi$$

Da nun nach der Annahme $CD = v_1$, $AC = w$ ist, so wird

$$AD_1 = v_1 = \sqrt{v^2 - w^2 \sin^2 \varphi} + w \cdot \cos \varphi$$
$$AD_2 = -v_2 = -\sqrt{v^2 - w^2 \cdot \sin^2 \varphi} + w \cdot \cos \varphi$$

2. Ist die Geschwindigkeit kleiner als die Windgeschwindigkeit, so wird der von C aus beschriebene Kreis unter Umständen die Gerade AB schneiden etwa bei D_3 und D_4. Das Luftschiff kann nun nicht mehr von A aus gegen D_1 vordringen, sondern die Gerade AB nur mit dem Winde befahren mit der Geschwindigkeit AD_3 oder AD_4, je nachdem die Einstellungen parallel zu einem der Strahlen CD_3 oder CD_4 gewählt werden.

3. Ist die Geschwindigkeit D_5 des Schiffes so klein, daß der Geschwindigkeitskreis die Linie AB nicht schneidet, so ist es dem Schiffe nicht möglich, die Linie AB zu befahren.

Um zu erfahren, welche Punkte ein Schiff von gegebener Eigengeschwindigkeit bei bekannter Windgeschwindigkeit innerhalb einer gewissen Zeit erreichen kann, trägt man auf der Karte den Weg AC auf, welchen das Schiff in gegebener Zeit von seinem Ausgangspunkt aus durch den Wind abgetrieben würde. Dann nimmt man die Strecke, welche das Schiff in der gleichen Zeit durch seine Eigengeschwindigkeit bei Windstille zurückzulegen vermag, in den Zirkel und beschreibt einen Kreis um C_1 (Abbildung 117). Nach Ablauf der Fahrzeit muß das Schiff sich in dem Kreise befinden. Alle Punkte des Kreises sind in direkter Fahrt erreichbar. Liegt A innerhalb dieses Kreises, so ist die Eigengeschwindigkeit größer als die Windgeschwindigkeit. Liegt A außerhalb des Kreises, so ist die Windgeschwindigkeit größer als die Eigengeschwindigkeit. Zieht man an den um C beschriebenen Kreis von A aus Tangenten, so kann das Schiff den Raum zwischen den Tangenten um den Kreis nur in kürzerer als der angegebenen Zeit erreichen, aber sich nicht länger darin halten, da es fortwährend abgetrieben wird.

Handelt es sich darum, mit einem Luftfahrzeuge von einem bestimmten Punkt aus einen anderen Punkt zu erreichen und wieder an den Ausgangspunkt zurückzukehren (Lösung einer lokalen Aufgabe), so nennt man die erreichbaren Punkte den „beherrschten Raum" und die erreichbare größte Entfernung „Aktionsradius". Bei Windstille ist der beherrschte Raum ein Kreis, dessen Halbmesser gleich ist der halben größten Fahrtlänge des Schiffes. Bei Wind ist der beherrschte Raum erheblich kleiner. Er wird Null, d. h. das Schiff kann den Ausgangspunkt nicht mehr erreichen, sobald die Windgeschwindigkeit größer ist als die Eigengeschwindigkeit des Schiffes.

Sei die Eigengeschwindigkeit v und die Maximalfahrzeit t; v_1 und v_2 seien die im Wind erzielten Geschwindigkeiten bei der Hin- und Rückfahrt an den Zielpunkt, t_1 und t_2 die zugehörigen Fahrzeiten, so ist

1. $t_1 + t_2 = t$
2. $v_1 \cdot t_1 = x =$ Aktionsradius r
3. $v_2 \cdot t_2 = v_1 \cdot t_1$

Eliminiert man aus 1 und 3 t_2 und setzt den Wert von t_1 in 2 ein, so erhält man:

$$x = \frac{t \cdot v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2}$$

Nun ist die Richtung der Flugbahn vorgeschrieben, die Windrichtung gegeben. Es ist also der Winkel φ bekannt, den beide bilden. Setzt man nun die S. 299 entwickelten Werte für v_1 und v_2 ein, so wird

$$x = \frac{t(v^2 - w^2)}{2\sqrt{v^2 - w^2 \cdot \sin^2\varphi}} = r$$

Dies ist die Polargleichung des Umfangs des beherrschten Raumes bezogen auf die Windrichtung als Nullrichtung.

Bei der Fahrt parallel zur Windrichtung ist $\varphi = 0$, $\sin\varphi = 0$ und $x = \frac{t(v^2 - w^2)}{2v}$ (Minimum des Aktionsradius für die Windgeschwindigkeit w).

Bei der Fahrt senkrecht zur Windrichtung ist

$$\varphi = 90^0, \sin\varphi = 1 \text{ und } x = \frac{t}{2}\sqrt{v^2 - w^2} \text{ (Maximum).}$$

Die Form des beherrschten Raumes ist demnach kein Kreis, sondern ein Oval, welches in der Windrichtung am schmalsten ist.

Beispiel: a) Luftschiff von 70 km/st Geschwindigkeit und 20 Stunden Fahrzeit:

		Windstärke =	40 km/st	60 km/st
beherrschter	Raum:	Tiefe =	470 km	185 km
		Breite =	573 „	360 „

b) Flugzeug von 100 km Geschwindigkeit und 3 Stunden Fahrzeit:

		Windstärke =	40 km/st	60 km/st
beherrschter	Raum:	Tiefe =	126 km	96 km
		Breite =	137 „	120 „

Dieser Vergleich ist jedoch zum Nachteil des Luftschiffes, weil dasselbe die Möglichkeit hat, bei Windstille oder bei der Fahrt mit dem Winde mit verringerter Eigengeschwindigkeit zu laufen. Dadurch wird der Benzinverbrauch pro Kilometer erheblich herabgesetzt und der beherrschte Raum vergrößert.

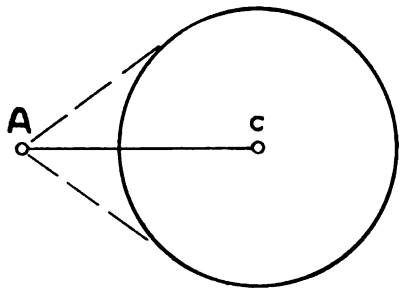


Abbildung 117. Erreichbarer Raum eines Luftfahrzeuges, wenn die Eigengeschwindigkeit kleiner ist als die Windgeschwindigkeit.

Die Führung eines großen Luftschiffes über eine große Strecke ist eine verantwortliche und schwierige Sache. Schon der Entschluß zur Fahrt ist bei zweifelhaftem Wetter oft sehr schwer und erfordert ein hohes Maß von Charakterstärke.

Während der Fahrt ist die Höhe und der Auftrieb des Schiffes dauernd im Auge zu behalten; Gasverluste sind nach den erreichten Höhen und der stattgehabten Erwärmung des Ballons zu schätzen. Täuschungen sind hierbei leicht möglich, weil das fahrende Schiff beträchtlichen dynamischen Wirkungen unterworfen ist, die bei der Landung verschwinden, so daß es manchmal überraschend durchfällt oder wegsteigt.

Eine weitere Aufgabe ist die entsprechende Wahl der Geschwindigkeit. Hiervon ist der Benzinverbrauch und die Abnutzung der Motoren abhängig.

Die Hauptsache bleibt aber stets, das Wetter richtig einzuschätzen und seine Ziele der Leistungsfähigkeit des Schiffes gemäß zu stecken.

Die Orientierung erfolgt bei sichtigem Wetter nach der Karte. Das Kartenlesen ist dadurch erleichtert, daß man meist ein weites Gelände übersieht. Straßen, Eisenbahnen, Wasserläufe, Wälder, Feldergrenzen, menschliche Wohnungen heben sich sehr deutlich ab; schlecht erkennbar sind aus größerer Höhe kleinere Bodenerhebungen. Muß ohne Sicht des Bodens gefahren werden, z. B. bei sehr tiefliegender Wolkendecke, so ist zur ungefähren Einhaltung der Bahnrichtung die Kenntnis der Richtung und Geschwindigkeit des Windes nötig. Dann läßt sich durch Aufzeichnen des Geschwindigkeitsdreiecks (S. 299) die erforderliche Achsrichtung des Schiffes bestimmen. Bassus hat zu diesem Zweck einen eigenen Apparat konstruiert. Selbstverständlich muß die Richtigkeit des Kurses kontrolliert werden, sobald der Boden vorübergehend sichtbar wird.

Die Wiedererlangung der verlorenen Orientierung ist schwierig und zwingt oft zur Landung.

Deswegen hat man vorgeschlagen, im Gelände besondere Bezeichnungen anzubringen, entweder Buchstaben (System von Frankenberg u. a.) oder Zahlen (nach Längen und Breitengraden). Zu der Buchstabenbezeichnung gehört dann ein besonderes Handbuch.

Diese Bezeichnungen müßten weit sichtbar auf Dächern oder sonst markanten Punkten angebracht sein und ein ziemlich enges Netz bilden. Solche Zeichen sind aber im Winter bei Schnee nicht sichtbar zu erhalten. Nachts müßten sie beleuchtet sein. Ob ein solches System der Kosten wegen sich durchführen läßt, muß der Zukunft überlassen bleiben.

Bei Erreichung größerer Höhen, wie sie wohl vorzugsweise bei Kugelballons vorkommen, wenn über den Wolken die Sonne oder die Gestirne sichtbar sind, kann man die Methoden der in der Seeschiffahrt gebräuchlichen astronomischen Orientierung anwenden. Hierzu ist die Messung zweier Gestirnshöhen erforderlich, woraus der astronomische Ort mittels Tabellen berechnet wird. Eine große Erleichterung der Auswertung bietet die graphische Methode z. B. mittels des von O. Voigt konstruierten Instruments „Orion". Unter günstigen Verhältnissen läßt sich der Ort des Schiffes bis auf ein paar Kilometer genau bestimmen.

Ein weiteres Mittel zur Orientierung ist die Messung der Horizontalintensität des Magnetismus einer Magnetnadel. Ein Instrument hierfür hat Bidlingmeier konstruiert. Dasselbe besteht aus zwei übereinanderliegenden Kompaßrosen, die sich infolge der magnetischen Kräfte gegeneinanderspreizen; der Spreizungswinkel ist ein Maß der Horizotalintensität. Eine Karte zeigt die Linien gleicher Intensität, die sogenannten Isodynamen, und man erkennt aus der Messung, auf welcher dieser Linien man sich befindet. Man erhält also eine Standlinie, welche den Breitengraden annähernd parallel ist. Das kann für Freiballonfahrer in Norddeutschland sehr wichtig sein, da man beurteilen kann, ob man sich der Meeresküste nähert. Die Messungen sind im dichtesten Nebel möglich. In ähnlicher Weise hat man auch vorgeschlagen, die Inklination einer Magnetnadel, welche gleichfalls mit der geographischen Breite variiert, zur Ermittlung einer magnetischen Standlinie zu benutzen.

FLUGZEUGE. Zum Aufsteigen und zur Landung bedürfen die Flugzeuge eines An- oder Auslaufs bis 200 m, auch können sie nur im spitzen Winkel aufsteigen, brauchen also für Start und Landung große ebene Plätze.

In größerer Höhe nimmt die Kraft der Motoren ab, weil die Luft dünner wird und der Motor ein geringeres Luftquantum einsaugt. Auf 1000 m Höhe beträgt der Kraftverlust 10 %. Gleichzeitig nimmt der Kraftbedarf in der dünneren Luft zu. Die größte bis jetzt erreichte Höhe ist 5200 m.

Die Steuerung hat die Drehung des Fahrzeuges um drei Achsen zu regeln: die Querachse (Höhensteuerung), die Längsachse (Quersteuerung) und die senkrechte Achse (Seitensteuerung); außerdem noch den Motor.

Dies ist, besonders bei bewegter Luft, sehr schwierig, namentlich bei starken auf- und absteigenden Luftströmungen, welche den Apparat leicht umkippen. Deshalb sind die ersten und die letzten Tagesstunden am günstigsten für den Flug, weil dann eine kühle Luftschicht am Boden lagert und keine vertikalen Bewegungen stattfinden.

Die Nervenanspannung, der rasche Wechsel des Luftdrucks bei Höhenflügen und der starke Wärmeverlust durch den heftigen Luftstrom bewirken eine rasche Erschöpfung der Flieger, die sogenannte Fliegerkrankheit mit heftigen Kopfschmerzen und Schlafsucht, welche anscheinend schon eine Anzahl Unglücksfälle veranlaßt hat.

Die Orientierung im Flugzeug ist für den einzelnen Flieger besonders schwierig; für größere Überlandflüge ist ein hiermit beauftragter Begleiter notwendig.

Zum Schutz gegen Stöße und den Wind dienen starke Lederanzüge, Lederhelme und Schutzbrillen.

12. DIE PRAKTISCHEN ANWENDUNGEN DER LUFTFAHRT

In der Luftfahrt sieht die Menschheit einen tausendjährigen Traum verwirklicht, und zunächst sind es nicht praktische Zwecke, sondern das ideale Streben, sich von der Erde und ihrem Dunst getrennt zu fühlen, den freien Überblick über die weite Welt zu genießen und die Einsamkeit der Höhe zu empfinden, welche die Menschen in die luftige Höhe treibt. So hat sich denn der Sport in erster Linie der Sache bemächtigt und sie bis zu ihrem jetzigen Stande gefördert.

In fast allen Staaten haben sich Luftschiffer- und flugtechnische Vereine gebildet, und als internationale Sportmacht ist die „Fédération Aéronautique Internationale", mit dem Sitz in Paris, anerkannt. Wegen Luftsport siehe Braunbecks Sportlexikon, Verlag von Gustav Braunbeck, Berlin.

Zunächst war nur der Kugelballon praktisch brauchbar, und es entstanden Wettfahrten für längste Dauer und größte Entfernung. Die längste Freiballonfahrt ist diejenige des Schweizers Oberst Schaeck mit „Helvetia" (2000 cbm) in 72 Stunden vom 11. bis 14. Oktober 1908 von Berlin an die Küste von Norwegen, in die Nähe von Bergset. Den Rekord der Weitfahrt hält zurzeit Maurice Bienaimé mit ca. 2200 km durch seine Fahrt vom 27. bis 29. Oktober 1912 von Stuttgart bis Bubnoye in Rußland.

Leider hat aber die Rekordjägerei eine ganze Reihe schwerer Unglücksfälle zur Folge gehabt. Minder gefährlich sind die Zielfahrten, bei welchen es sich darum handelt, möglichst nahe an einen in der Windrichtung liegenden, vorher bestimmten Punkt zu gelangen.

Der lenkbare Ballon hat sich wegen der hohen Kosten in den Sport nicht eingeführt. Dagegen sind von besonderen Gesellschaften mit gutem Erfolg Vergnügungsfahrten mit Lenkballons veranstaltet worden; für Verkehrszwecke ist das Fahrzeug allzu abhängig vom Wetter. Eine wirtschaftlich wichtige Verwendung ist der Gebrauch der Luftschiffe über großen Städten als Träger von Reklameschildern.

Einen erheblichen Aufschwung hat der Sport mit Aeroplanen genommen, angeregt durch Ehrgeiz und hohe Geldpreise. Leider sind aber auch zahlreiche tödliche Unglücksfälle zu beklagen, die das Vertrauen zu der Sache stark erschüttert haben. Die Wettbewerbe bestehen hauptsächlich aus Weit-, Hoch- oder Dauerflügen und finden entweder auf abgesperrten Flugplätzen statt, oder sie sind sogenannte Überlandflüge auf große Strecken, ähnlich den Automobildauerfahrten.

Es hat sich gezeigt, daß Höhen von ca. 5000 m mit der Flugmaschine erreichbar sind; auf Flugplätzen sind Flüge von 12 Stunden Dauer und Flugstrecken von über 600 km erzielt worden. Jedoch können in der Praxis in der Regel Flugzeiten von 2—3 Stunden nicht überschritten werden.

Für Zwecke des allgemeinen Verkehrs sind Aeroplane vorerst nicht geeignet.

Die meiste praktische Bedeutung hat die Luftschiffahrt für den militärischen Dienst. Schon der alte Kugelballon, so unvollkommen er als Gebrauchsgegenstand auch sein mag, hatte in allen großen Heeren Aufnahme gefunden und dient, gefesselt, als Beobachtungswarte im Kriege zur Erkundung feindlicher sowie zur Beobachtung der eigenen Streitkräfte und zur Übermittlung von Signalen. In allen neueren Feldzügen, so in Afrika im Burenkriege und in Marokko, in Ostasien im Russisch-Japanischen Feldzuge haben die Fesselballons, namentlich die Drachenballons, gute Dienste geleistet.

Die Beobachtungsweite reicht unter sehr günstigen Verhältnissen, die sich in unserem Klima allerdings nur selten finden, bis ca. 20 km. Um Einblick hinter leichte

Höhen nehmen zu können, ist es wünschenswert, möglichst hoch zu steigen. Bei Windstille ist der Kugelfesselballon in der Steighöhe dem schwereren Drachenballon überlegen; bei mäßigem und starkem Winde aber hat der Drachenballon den Vorrang.

Dem Artillerieschrapnellfeuer dürfen sich die Fesselballons innerhalb 5 km nicht aussetzen; sie bilden ein gut sichtbares, leicht zu fassendes Ziel. Durch zwei seitlich und vorwärts aufgestellte Beobachtungsposten läßt sich die Lage der Schüsse feststellen. Der rechtsseitliche Beobachter sieht einen Kurzschuß links und einen Weitschuß rechts vom Ballon. Auf diese Weise gelingt es der Feldartillerie, die Entfernung zu ermitteln. Infanteriefeuer vermag den Ballon nicht zu zerstören, sondern bringt ihn höchstens zum langsamen Sinken.

Die Freiballons wurden militärisch gebraucht, um Nachrichten und einzelne Personen aus einer eingeschlossenen Festung herauszubefördern, und leisteten den Franzosen bei der Belagerung von Paris 1870/71 erhebliche Dienste.

Es leuchtet aber ein, um wieviel der Nutzen gesteigert werden kann durch einen lenkbaren Ballon. Diesem bieten sich außerdem noch zwei Verwendungsmöglichkeiten: die Erkundung und die Möglichkeit, Geschosse mit Sprengstoffen auf den Gegner hinabzuwerfen. Versetzt man sich in Gedanken in die kriegerische Lage bei Metz in den Augusttagen des Jahres 1870, wo zwei gewaltige Heere sich nahe gegenüberstanden, ohne daß beide Teile über die Lage beim Feinde genügend unterrichtet waren, so erhellt, um wieviel sicherer die deutsche Führung ihren Erfolg erreicht hätte ohne die schweren Verluste des 14. und 16. August; und wie leicht es anderseits den Franzosen gewesen wäre, ihren taktischen Erfolg vom 14. zu einem Siege zu gestalten, wenn sie die Situation richtig beurteilt hätten.

Lenkbare Luftfahrzeuge können also bei großen Entscheidungsschlachten die wesentlichsten Dienste leisten, allerdings nur bei klarem Wetter und mäßigem Winde. Liegt eine Wolkendecke über dem Gelände, so ist die Beobachtung nur aus geringer Höhe möglich, die Fahrzeuge müssen nahe heran und sind dem feindlichen Feuer sehr ausgesetzt.

Besonders günstige Verhältnisse bieten sich den Luftfahrzeugen in großen Festungen namentlich für den Verteidiger. Die Lage des feindlichen Geschützparkes und die Vorbereitungen zum Hauptangriff werden ihm rechtzeitig bekanntwerden; auch können vor Festungen Luftschiffe durch Herabwerfen von Sprengkörpern den Feind empfindlich beunruhigen.

Militärische Aeroplane empfehlen sich durch ihre weit geringere Zielfläche, ihre größere Geschwindigkeit, vermöge deren sie auch bei geringer Höhe dem feindlichen Feuer weniger ausgesetzt sind, und den geringeren Aufwand an Hilfsmitteln und Bedienung. Letzterer Vorteil wird jedoch durch den häufigen Bruch bei den Landungen stark vermindert. Gefordert wird neuerdings eine Tragkraft für drei Personen, von denen zwei in der Führung abwechseln, während der dritten die Orientierung und Beobachtung obliegt; doch genügt auch für praktische Zwecke eine Tragkraft für zwei Personen.

Mit der Luftfahrt haben sich auch die Feuerwaffen zur Bekämpfung der lenkbaren Luftfahrzeuge entwickelt. Die Tragweite leichter Geschütze, auch der Gewehre, reicht vollkommen aus; die Geschosse erreichen Höhen von vielen tausend Meter. Es war nur nötig, den Rohren Einrichtungen für sehr steile Richtwinkel zu geben. Man setzte derartige Schnellfeuergeschütze auf Automobile, um sie rascher beweglich zu machen. Versuche auf Schießplätzen haben sehr gute Resultate gehabt.

Ob jedoch bei der immerhin nur kleinen Zahl solcher Ballonkanonen ein praktischer Erfolg erzielt werden wird, muß die Erfahrung lehren.

Eine der frühesten Anwendungen der Luftfahrt war die Verwendung der Ballons zur wissenschaftlichen Erforschung der Atmosphäre. Lange Zeit waren alle meteorologischen Messungen an die Erdoberfläche gebunden, bis sich Ende des vorigen Jahrhunderts die Erkenntnis durchsetzte, daß diese zur Erforschung der Atmosphäre nicht genügte, und daß nur die hoch in die Luft steigenden Freiballons uns über die meteorologischen Elemente Aufschluß geben können.

Die ersten Anregungen gehen bis auf den französischen Gelehrten Lavoisier zurück. Die Engländer Welsh und Glaisher waren die ersten, welche größere praktische Versuche machten; doch war die Qualität und die Aufstellung der Instrumente noch mangelhaft. Erst nach Erfindung des Aspirationspsychrometers durch Aßmann war die Möglichkeit guter Temperaturmessungen gegeben. Das Instrument wird zu wissenschaftlichen Untersuchungen an einen Galgen außerhalb des Korbes montiert und durch ein Fernrohr abgelesen. Der Luftdruck wird bei wissenschaftlichen Untersuchungen durch ein Quecksilberbarometer gemessen, das aber durch die Angaben eines die Vertikalbeschleunigung messenden Instrumentes korrigiert werden muß. Zunächst wurden erfolgreiche Versuche mit bemannten Freiballons gemacht, und zwar war es zuerst in Deutschland infolge des Interesses des Kaisers Wilhelm II. möglich, in den Jahren 1888 bis 1898 eine Reihe wissenschaftlicher Luftfahrten auszuführen, welchen die Errichtung eines aeronautischen Observatoriums im Jahre 1899 folgte. Um die Messungen mit geringen Kosten machen zu können, ließ man nach dem Vorgange der Franzosen Hermite und Besançon leichte Registrierinstrumente durch kleine unbemannte Ballons, Sonderballons genannt, in die Höhe tragen; als Instrumente wurden Meteorographen von Marvin, Hergesell und anderen verwendet. Mit Gummiballons von nur 5 cbm Inhalt gelang es, bis in Höhen von mehr als 20000 m vorzudringen. Solche Ballons dehnen sich auf das Mehrfache ihres Volumens aus und platzen schließlich; die unerläßliche Umspülung der Instrumente mit Luft wird durch die 4—6 m betragende Geschwindigkeit des Aufsteigens bewirkt. Die Dauer eines solchen Aufstiegs soll nicht viel über zwei Stunden betragen, damit der Ballon nicht allzuweit weggetrieben wird. Bei Versuchen über Meeres- oder großen Seeflächen verwendet man zwei Gummiballons, von denen nur einer platzt; der andere bleibt nach dem Hinunterfallen über der Wasserfläche als Signal schweben und ermöglicht das Auffinden des Instruments. Ein Nachteil dieser Methode ist, daß die Apparate häufig verloren gehen.

Das merkwürdigste Versuchsergebnis dieser Aufstiege ist die sogenannte „obere Temperaturumkehrung", die gleichzeitig von Aßmann und dem Franzosen Teisserenc de Bort festgestellt wurde. Bei 10000—12000 m Höhe hört nämlich die in tieferen Regionen ausnahmslos festgestellte Temperaturabnahme mit der Höhe auf, die Lufttemperatur bleibt konstant und beginnt in größerer Höhe sogar wieder zuzunehmen; hieraus ist zu folgern, daß vertikale Luftströmungen, wie wir sie in tieferen Regionen so häufig beobachten, nicht bis in jene Höhen dringen. Dort herrscht eine ungestörte Ruhe der Atmosphäre. Wahrscheinlich ist diese Erscheinung in verschiedenen Höhen über der ganzen Erde zu finden; bei einer meteorologischen Expedition in Ostafrika wurde sie in 17000 m Höhe angetroffen, oberhalb von Temperaturen von -84°.

Für geringere Höhen kann man aber einen kontinuierlichen Betrieb mit Drachen einrichten.

Der Amerikaner Rotch war 1894 der erste, welcher Drachen als Träger der Registrierapparate verwendete. In seiner Anstalt bei Boston auf dem Blue Hill bildete er diese Methode zu einem jetzt überall angewendeten Hilfsmittel der aerologischen Forschung aus. Zur Verwendung kamen Drachen verschiedener Systeme; in Deutschland sind vorwiegend Hargravedrachen in Gebrauch. Um große Höhen zu erreichen, setzt man mehrere Drachen übereinander. Die größte Höhe eines Drachens wurde in der Wetterwarte bei Washington erreicht und beträgt 7000 m. Die größte in Deutschland im Observatorium Lindenberg erreichte Höhe ist 6430 m. Hierzu waren sechs Drachen mit insgesamt 27 qm Fläche und 14930 m Draht von 0,6—0,8 mm Durchmesser nötig. Trotz der hohen Festigkeit der Gußstahldrähte ist das Abreißen der Drachen nicht selten; indessen bleiben sie bei genügendem Winde gelegentlich fünf bis sechs Tage in der Luft.

Solche aerologischen Stationen befinden sich in Deutschland in Lindenberg, 65 km südöstlich von Berlin, unter Leitung Aßmanns und in Groß-Borstell bei Hamburg unter der Leitung Köppens; außerdem in Friedrichshafen am Bodensee. Dort hat man, um von den herrschenden Winden unabhängig zu sein, ein schnelles Dampfboot gebaut, welches gegen den Wind fährt und so den Drachen in die Höhe bringt. Läßt man das Boot mit dem Winde laufen, so kann man auch kleine Kugelballons in der Höhe halten, die sonst von dem Winde zu Boden gedrückt würden.

Für wissenschaftliche, militärische und künstlerische Zwecke hat auch die Photographie aus dem Luftschiff Verwendung gefunden. Hierbei handelt es sich um Bilder weit entfernter Gegenstände, welche von einem bewegten Standpunkt aus aufgenommen werden. Die Bewegung des Schiffes quer zur Gesichtslinie macht die Bilder unscharf. Der Effekt ist genau derselbe, wie wenn das Schiff stände und der abgebildete Gegenstand sich seitlich verschöbe. Beträgt die Verschiebung eines Bildpunktes auf der Platte während der Belichtung weniger als $^1/_{10}$ mm, so ist der Fehler dem Auge unmerklich. Nun ist der Maßstab, in welchem sich ein Gegenstand abbildet, gegeben durch das Verhältnis der Entfernung des Punktes zur Brennweite e des Apparats; sei z. B. der Gegenstand 1000 m entfernt, die Brennweite 50 cm, so ist das Bild $\frac{1000}{0{\cdot}50} = 2000$ kleiner als der Gegenstand. Eine Unschärfe von 0,1 mm entspricht dann einer Verschiebung des abgebildeten Gegenstandes von $0{,}01 \cdot \frac{x}{e} = 0{,}01 \cdot 2000 = 0{,}2$ m. Die Bewegung des Luftschiffs während der Belichtung darf nicht größer sein als dieser Betrag. Hat das Schiff die Geschwindigkeit v und beträgt die Belichtungszeit t, so muß der zurückgelegte Weg $v \cdot t$ kleiner oder gleich sein $0{\cdot}20$ m, d. h. $v \cdot t \leqq \frac{x}{e} \cdot 0{\cdot}1$ mm $= 0{\cdot}20$ m. Setzt man für einen Ballon die Geschwindigkeit gleich 10 m, für ein Flugzeug $v = 20$ m, so erhält man unter den angegebenen Verhältnissen Belichtungszeiten von $^1/_{50}$ bzw. $^1/_{100}$ sek. Man kann dann auf ein gutes Landschaftsbild rechnen, bei welchem jedoch kleinere Gegenstände, z. B. einzelne Personen, nicht mehr scharf sichtbar sind. Den Mißstand schneller Bewegungen senkrecht zur Gesichtslinie kann man bei lenkbaren Luftschiffen vermeiden. Viel schädlicher sind aber Drehungen des Schiffes, wenn die Drehachse senkrecht zur Sehlinie steht; bei Pendelungen muß man daher die Umkehrpunkte benutzen. Die Vibrationen der Motoren können durch elastische Aufhängung der Apparate, schon dadurch, daß man sie z. B. frei in der Hand hält, unschädlich gemacht werden. Die Beleuchtungsverhältnisse im Ballon sind sehr verschieden von denjenigen der terrestrischen Photographie. An sich hat man

es stets mit weiten Entfernungen und geringen Kontrasten zu tun; außerdem erscheinen auf der photographischen Platte die Farben in einer anderen Intensität, als das Auge sie sieht. Dem Auge ist Rot und Gelb am sichtbarsten, Grün oder Blau bis Violett scheint dunkler. Auf der Photographie werden die blauen und die unsichtbaren chemischen Strahlen beim Durchdringen einer weiten Luftschicht weniger geschwächt als die roten und gelben; dadurch erscheint rot im Bilde fast schwarz, blau fast weiß. Zum Ausgleich verwendet man sogenannte Gelbfilter, welche nach den Angaben Miethes am besten aus planparallelen Gläsern mit einer gefärbten Gelatineschicht dazwischen bestehen. Diese Filter müssen in Verbindung mit farbenempfindlichen Platten angewendet werden, welche derart imprägniert sind, daß sie für die Farben nach der roten Seite des Spektrums hin empfindlicher sind als für diejenigen nach der blauen. Hierfür hat Miethe Platten angewendet, welche in einer Gelblösung gebadet sind, sogenannte Perxantoplatten. Diese lassen eine sehr geringe Belichtungszeit zu, und da in Deutschland zwei Drittel aller Tage zum Photographieren schlecht geeignet sind, ist dies von großer Bedeutung. Um genaue Bilder zu erzielen, muß man große Brennweiten und stabile, feste Holzkameras anwenden. Die Kenntnis der Himmelsrichtung und des Neigungswinkels, unter welchem zur Horizontalen photographiert ist, ist nötig, wenn das Bild zu photogrammetrischen Messungen dienen soll. Das letztere erzielt Finsterwalder dadurch, daß er die senkrecht herabhängenden Leinen eines Kugelballons mit photographiert; aus der Konvergenz der Abbildungen und dem bekannten Abstand der Leinen läßt sich der Neigungswinkel des Apparats berechnen. Leider ist diese Methode bei einem lenkbaren Luftfahrzeug nicht anwendbar, weil hierbei die Leinen infolge des Luftzuges schräg hängen. Von anderer Seite wurden direkte Winkelmessungen angewendet, bei denen es schwer ist, die nötige Genauigkeit zu erzielen. Die Kasten müssen, namentlich wenn Sandballast verwendet wird, auch einen guten Staubschutz gewähren. Hildebrandt empfiehlt solche mit herausziehbarem Hartgummischieber und rät von der Anwendung von Films wegen ihrer Unzuverlässigkeit entschieden ab.

Der wichtigste Teil des Apparats ist die Linse. Bei künstlerischen Aufnahmen wird es oft weniger auf Genauigkeit ankommen; hier kann man oft mit Vorteil kleinere Apparate mit schwachen Vergrößerungen anwenden. Für wissenschaftliche und militärische Zwecke geben große Apparate von hoher Brennweite das beste Resultat. Alle lichtstärkeren Linsen guter Firmen genügen den Anforderungen. Teleobjektive, d. h. solche, bei welchen ein von einer Linse geringerer Brennweite entworfenes Bild durch eine zweite Linse vergrößert wird, geben wohl große, aber lichtschwache Bilder und sind daher nur bei gutem Licht brauchbar. Sehr wichtig ist es im Gebrauche, die Linsen vollkommen frei von Staub und von Niederschlägen zu halten, wie sie bei raschem Höhen- und Temperaturwechsel des Ballons, namentlich beim Sinken, leicht auftreten können.

Auf einer Ballonphotographie treten horizontale Linien, wie Wege, Grenzen, Waldränder, Wasserläufe usw., scharf hervor; auch Ortschaften geben gute Bilder; viel weniger deutlich sind schwache Geländeerhebungen; Höhen sind oft nur an dem anscheinend krummen Verlauf geradliniger Feldgrenzen zu erkennen. Dagegen ist die pittoreske Formation des Hochgebirges ein sehr dankbares Objekt. Besonders schöne Gebirgsaufnahmen haben die Schweizer Spelterini und de Beauclair bei ihren Alpenfahrten erzielt. Auf militärischem Gebiet hat der Gedanke, feindliche Truppenaufstellungen und Festungswerke zu photographieren, nur geringe praktische Erfolge aufzuweisen, da ein scharfes menschliches Auge im Freien mehr sieht, als eine gute

Photographie erkennen läßt, und die Notwendigkeit der Entwicklung des Bildes die Ankunft der Meldung verzögert. Aussichtsreicher erscheint die Anwendung der Photographie zu Landesaufnahmen mit Hilfe lenkbarer Ballons, namentlich wenn es sich um unbekannte, schwer zugängliche Gegenden handelt. Dieses Verfahren ist weit schneller und billiger als Meßtischaufnahmen. Die Photographie gibt nicht nur ein Bild der Situation, sondern auch der plastischen Gestaltung des Geländes. Eine Methode zum Auswerten der Photographie hat zuerst Finsterwalder in München bearbeitet; doch war dieselbe für den praktischen Gebrauch zu umständlich.

Neuerdings ist durch die Erfindung des Stereographen von Orel die Möglichkeit gegeben, die perspektivischen Lichtbilder rasch in die Kartenprojektionen zu übertragen; siehe Dr. M. Gasser, „Die aeronautische Ortsbestimmung," Würzburg, bei H. Stürtz.

Als Vermessungsschiff eignet sich ein stabiles und schnelles Luftschiff, das genügend Raum und Sicherheit für die Beobachter bietet.

Als Nutzlast wäre zu rechnen: eine Station für drahtlose Telegraphie — mindestens in unzivilisierten Ländern —, zwei Photographen mit den entsprechenden Apparaten. Hierzu würde z. B. ein Parsevalluftschiff von 8000—10000 cbm, je nach den Ansprüchen an die Geschwindigkeit und Fahrthöhe, genügen. Von einem Stationspunkt aus kann mit einem solchen Schiff das Terrain im Umkreis von 200 km aufgenommen werden.

POST, TELEGRAPHIE UND FERNSPRECHWESEN

VON RICHARD KUHLMANN

DIE BEDEUTUNG DES NACHRICHTENDIENSTES

Im Verkehrswesen, dessen großes Endziel hauptsächlich darauf gerichtet ist, durch Überwindung der durch Raum und Zeit gesetzten Schranken die Menschen in nähere Beziehungen zueinander zu bringen und somit die Förderung von Kunst und Wissenschaft, die Hebung von Handel, Industrie und Gewerbe sowie die Verbreitung von Bildung, Gesittung und Wohlstand unter den Völkern zu vermitteln, nimmt der durch Post, Telegraphie und Fernsprechwesen gekennzeichnete Nachrichtendienst eine hervorragende, für die allgemeine wirtschaftliche und kulturelle Entwickelung bedeutungsvolle Stellung ein. Besonders innig sind die drei genannten Zweige des Weltverkehrs durch Wechselwirkungen mit der Technik verknüpft, indem gerade sie in nicht geringem Maße dazu beigetragen haben, die Technik auf die heutige erstaunliche Höhe zu erheben und indem anderseits sie selbst wiederum sich bei der fortschrittlichen Durchbildung ihrer Mittel der Technik in weitestem Umfange bedienen. In einem Werke, das die neuzeitliche Technik umfassend schildern soll, dürfen daher Post, Telegraphie und Fernsprechwesen nicht fehlen und es soll in den nachfolgenden Ausführungen eine Betrachtung ihrer Einrichtungen und Hilfsmittel vom technischen Gesichtspunkt aus gegeben werden.

1. DER TECHNISCHE POSTDIENST

Mit der durch die Ausbreitung der Eisenbahnen bedingten Beschleunigung im Sachgüter- und Personenverkehre stellte sich auch das Verlangen ein, die Nachrichten schneller als bisher befördert zu sehen. Die Post hat sich daher, diesem Bedürfnisse Rechnung tragend, in allen Kulturstaaten zu einem Verkehrszweig entwickelt, der neben einer weitgehenden Sicherheit eine größtmögliche Schnelligkeit gewährleistet. Der technische Postdienst gliedert sich in den eigentlichen Beförderungsdienst, in den Geldvermittelungsdienst und in gewisse Nebendienste.

DER POSTBEFÖRDERUNGSDIENST umfaßt in Deutschland die Beförderung von Brief- und Geldsendungen, Zeitungen, Paketen und Reisenden. Seine erste Stufe bildet die Einsammelung und Annahme der Beförderungsgegenstände. Zur Ausschaltung der bei der Frankoerhebung sonst erforderlichen Rechnungs- und Buchungsgeschäfte dient die Freimarke und zur Portoeinziehung bei mehreren ausländischen Postverwaltungen die Porto- oder Taxmarke. Die Freimarken, eine Erfindung des schottischen Buchhändlers Chalmers, werden gewöhnlich in Tief- (Kupfer-) oder Flachdruck auf Flachformschnellpressen hergestellt und aus Sicherheitsgründen meist auf Wasserzeichenpapier gedruckt. Bei der Anfertigung bilden Gummieren, Drucken und Durchlochen die Hauptvorgänge. Das Bedürfnis zum Drucken der Briefmarken in Rollenform für den Automatenbedarf hat in Deutschland zum Bau einer Rotationsmaschine für einfarbigen Briefmarkendruck geführt, die nach den Angaben des Baurats

Dr. Nicolaus für die deutsche Reichsdruckerei hergestellt ist (Abbildung 1). Zum Nachweise der Markenmenge sind besonders angetriebene Zählwerke angebracht. Unmittelbar nach dem Drucke werden die breiten Briefmarkenstreifen mit einem Durchlochungsapparat absatzweise gelocht. Der Stiftkamm dieses Apparats wird dabei durch Exzenter so hin und her bewegt, daß er das fortschreitende Papierband ohne Aufenthalt durchlochen kann. Zum Durchtreiben der Stifte ist eine Kraft von mehreren 1000 kg erforderlich. Der in dieser Weise vorbereitete Papierstreifen wird darauf durch zwei Kreismesser beschnitten, zwischen elektrisch geheizten Platten getrocknet und dann aufgewickelt. Eine besondere Maschine schneidet die einzelnen Markenstreifen für die Automaten. Die Rotationsmaschine hat schon Tagesleistungen von zwei Millionen Wertzeichen erreicht; ihre Leistung kann jedoch noch auf das Doppelte gesteigert werden. Im deutschen Reichs-Postgebiete wurden 1910 rund 4616 Millionen Postwertzeichen für über 431 Millionen Mark abgesetzt. In den Vereinigten Staaten betrug vergleichsweise die Zahl der in der gleichen Zeit verkauften Briefmarken über 10000 Millionen Stück für über 750 Millionen Mark. Um den Auflieferern von Massensendungen die Mühe des Aufklebens der Marken zu ersparen und um den Aufwand bei der Herstellung, dem Versande, der Aufbewahrung und dem Verkaufe der Marken zu verringern, hat Bayern Frankostempelmaschinen eingeführt, die auf den Sendungen, deren Franko bar bezahlt wird, einen Aufgabe- und Frankostempel abdrucken. Auf dem Postamte 2 in München sind 1910 über 10 Millionen Sendungen gegen Barfrankierung für einen Portobetrag von 371 520 Mark aufgeliefert worden. Die Sendungen hätten demnach mindestens 10 Millionen Marken erfordert. Zur Verrechnung dienten aber nur etwa 75000 Freimarken. Als Frankostempelmaschinen dienen die Briefstempelmaschinen von Sylbe mit Frankostempelwalze. Im Auslande, z. B. in England, werden selbsttätige Frankostempelmaschinen verwandt, die auf den Einwurf eines Geldstücks den Brief mit einem Freistempel versehen. Da im Weltpostverkehre die Frankierung durch Marken vorgeschrieben ist, außerdem die Frankostempelmaschinen zur Sicherstellung der Einnahmen eine umständliche Überwachung erfordern, auch die Frankostempel leichter nachzumachen sind und sich u. U. von ihrem Untergrunde nicht so deutlich abheben wie die Postwertzeichen, hat die Frankostempelmaschine noch keine allgemeinere Bedeutung erlangt. Die Deutsche Post- und Eisenbahn-Verkehrswesen A.-G. (Staaken-Berlin) stellt eine Frankiermaschine her, welche die Marken selbsttätig aufklebt und zugleich einen Verbrauchsnachweis bietet. Die Maschine, die bei großen Firmen vielfach im Gebrauch

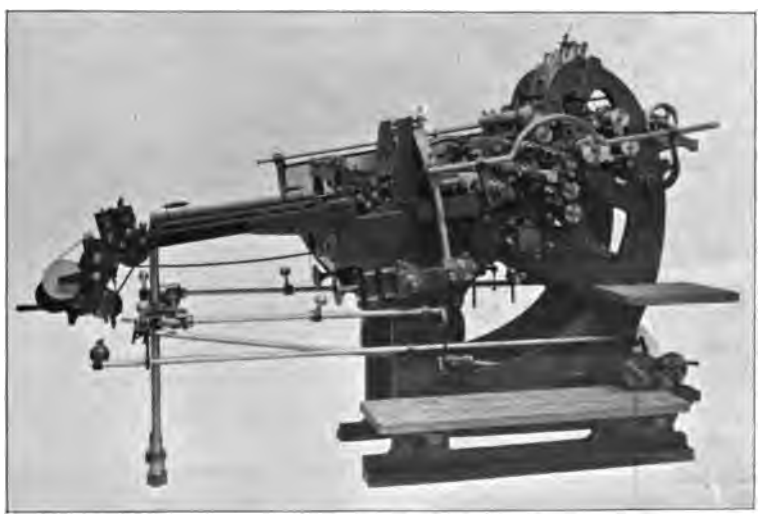


Abbildung 1. Rotationspresse für einfarbigen Briefmarkendruck der Reichsdruckerei in Berlin. Seitenansicht, etwa 1/40 der natürlichen Größe (Gandenbergersche Maschinenfabrik Georg Goebel, Darmstadt).

ist, klebt in der Stunde bis 4800 Marken in fünf verschiedenen Sorten auf. Die deutsche Postverwaltung hat in verschiedenen großen Städten Versuchsmaschinen aufgestellt, welche die Sendungen mit Marken bekleben, diese entwerten und zählen. Den Einzelverkauf von Freimarken beschleunigen außer den Freimarkenheftchen die in vielen Ländern eingeführten Wertzeichenautomaten. Diese bestehen aus dem Münzprüfer, der Marken- oder Postkartenausgabe, die das Auslösen des Triebwerks, die Förderung und das Abschneiden der Marken besorgt, und dem Federtriebwerk. Ein Aufzug reicht für 500 Verkäufe. Die neuesten Wertzeichenautomaten sind mit elektrischem Antriebe versehen (Elektromotor von 1/40 P.S.). Der Stromverbrauch beträgt für den Verkauf von 82000 Marken oder 164000 Postkarten nur rund 1 KW-Stunde. Eisen- und reine Nickelscheiben werden im Münzprüfer durch einen Magneten festgehalten. Die Automaten enthalten die Marken in Rollenform (in der Regel 1000 Briefmarken) und sind mit einem elektrischen Fernanzeiger ausgerüstet, der den Zeitpunkt des Ablaufs der Markenrollen selbsttätig meldet. Außerdem kann der Wertzeichenstand an einem Zählwerke von außen abgelesen werden. Gegenwärtig sind bei der deutschen Reichspost etwa 1000 Wertzeichenautomaten im Betrieb und 1910 sind durch Automaten annähernd 48 Millionen Postwertzeichen und Postkarten für rund 3 Millionen Mark abgesetzt worden. Die Einsammelung der gewöhnlichen Briefsendungen erfolgt durch Briefkasten, die Milliarden Einzelgänge zur Post ersparen. Die Geld- und Einschreibsendungen müssen jedoch am Postschalter eingeliefert werden. Zur Vereinfachung des Annahmedienstes haben Selbstabfertiger für Einschreibbriefe (Abbildung 2) Eingang gefunden (1911 etwa 20 Apparate), bei denen der Auflieferer den Brief in einen Einwurf schiebt und dadurch ein Gesperr auslöst, das zwei Führungs- und Druckwalzen freigibt. Beim Drehen einer Kurbel gleitet der Brief, nachdem er durch ein Typenrad bedruckt ist, in den Aufnahmekasten und ein Quittungstreifen wird durch die Ausfallschale ausgeworfen.

Abbildung 2. Selbstabfertiger für Einschreibbriefe (Deutsche Post- und Eisenbahn-Verkehrswesen A.-G. Staaken-Berlin).

Die zweite Stufe des Beförderungsdienstes ist die Abfertigung. Dazu gehören das Stempeln, das Verteilen der Sendungen und das Fertigen der abzusendenden

Kartenschlüsse. Die Stempelung erfolgt im allgemeinen durch Handstempel mit Umsatztypen oder Typenrädern; die Hammerform wird dabei bevorzugt. In großen Betrieben werden zur Beschleunigung der Abstempelung Stempelmaschinen verwandt. In der deutschen Reichs-Postverwaltung sind die Systeme Bickerdike, Krag und Sylbe im Betriebe (1910 im ganzen 138 Stück). Die Stempelabdrücke werden durch Stempelwalzen hervorgebracht und bestehen aus dem Tagesstempel und den Entwertungslinien. Die Bickerdikemaschine stempelt in der Minute etwa 120—150 Sendungen, während ein geschickter Handstempler in der Minute durchschnittlich nur 50—100 Stempelungen leisten kann. Die Kragmaschine gibt einen Stempelabdruck, der über den ganzen oberen Teil der Sendung läuft, und leistet bei elektrischem Antriebe 600—1000 Sendungen in der Minute, je nachdem, ob die Sendungen gleichartig oder gemischt sind. Die Sylbemaschine (Abbildung 3) kann zur Vermeidung einer Überstempelung der Mitteilungen auf der linken Seite der Postkarten von Ganz- auf Halbstempelung umgestellt werden. Sie leistet bei Ganzstempelung 550—600 Sendungen und bei Halbstempelung 1500—1900 Postkarten in der Minute. Der Ausfall an gar nicht oder unvollständig gestempelten Sendungen beläuft sich im allgemeinen, je nach der Art der Sendungen, auf $^1/_2$—5 v. H. Das Verteilen der Sendungen geschieht an Fachwerken. Zur Aufnahme der fertigen Briefbunde dienen Beutel, die nach der Umschnürung mit Siegelmarken, Siegellack oder Bleiplomben verschlossen werden. Das Reinigen und Stopfen der Beutel erfolgt mit besonderen elektrischen Reinigungs- und Stopfmaschinen. Auch gibt es in großen Betrieben Beutelschüttelwerke mit elektrisch betriebener Staubabsaugung, die zum Teile mit einer Stopf- und Waschanstalt verbunden sind.

Die dritte und wichtigste Stufe des Beförderungsdienstes ist die Fortschaffung der Ladungsgegenstände (Beutel und Pakete) zum Bestimmungsorte. Lastfahrstühle und Gleitschienen (Rutschen) dienen zu ihrer Fortbewegung zwischen den einzelnen Geschossen, Förderwerke und Schiebebühnen zum selbsttätigen Fortführen der Paketkarren und Transportbänder zur Paketbeförderung zwischen den einzelnen Dienststellen. Auf vielen Bahnhöfen sind Posttunnel mit elektrischen oder hydraulischen Aufzugsanlagen zur Hebung und Versenkung der Karren eingerichtet. In Leipzig ist kürzlich ein besonderer Postgüterbahnhof dem Betriebe übergeben worden, der in 8 Riesenhallen 29 Bahngleise vereinigt und auf dem 100 Eisenbahnwagen gleichzeitig beladen und ausgeladen werden können. Das Hauptmittel der Postbeförderung auf gewöhnlicher Straße bleibt der Fußbote mit Botenposttasche oder Rucksack. Wenn er auch meist nur auf kurze Entfernungen benutzt wird, so ist seine Bedeutung neben den neuzeitlichen Beförderungsmitteln doch eine ganz hervorragende. Die Gesamt-Kurslänge der Boten- und Landbriefträgerposten zu Fuß betrug z. B. Ende 1910 im deutschen Reichs-Postgebiete zusammen rund 23800 km gegen eine Gesamt-Postkurslänge auf Eisenbahnen von rund 58300 km. Als Beschleunigungsmittel wird in großem Umfange von Fahrrädern Gebrauch gemacht. Die deutsche Reichspost benutzt z. B. annähernd 8000 Postfahrräder. In den Kolonien und unkultivierten Ländern hat die Reitpost auch heute noch größere Bedeutung. Zur Beförderung umfangreicher Posten dient das Fuhrwerk, das in der Regel durch Pferdekraft bewegt wird. Im Gebrauche sind Personenpost-, Güterpost-, Paketbestell-, Karriolpost- und Landbriefträgerwagen. In neuerer Zeit hat sich auch der Kraftwagen zur Beförderung von Sendungen und Personen bei der Post sehr entwickelt. Der Postverkehr auf größere Entfernungen ist überall auf die Eisenbahn übergegangen. Meist sind besondere Bahnposten eingerichtet, deren Begleiter die ihnen zugeführten

Postsendungen unterwegs bearbeiten. Daneben werden geschlossene Postbeutel durch das Eisenbahnpersonal oder auch ganze geschlossene Wagen ohne Begleitung befördert. In einzelnen Ländern, z. B. in den Vereinigten Staaten, verkehren auf den Hauptlinien besondere Postzüge. Das Verhältnis zwischen Post und Eisenbahn ist in den meisten Ländern gesetzlich geregelt, und zwar ist meist die Eisenbahn als Gegenleistung für die staatliche Genehmigung ihres Betriebs zur Beförderung der Post verpflichtet. In Deutschland muß die Eisenbahn nach dem Eisenbahn-Postgesetze von 1875 in jedem fahrplanmäßigen Zuge einen Postwagen unentgeltlich mitführen. Die deutschen Bahnpostwagen (1910: 2101 Stück) haben eine Länge von 8½, 10, 12 oder 17 m und sind 2-, 3- oder 4-achsig; ihre Beleuchtung geschieht meist durch Elektrizität. Ein wichtiges Mittel für die Eilbeförderung von Briefsendungen und Telegrammen in Großstädten bildet die Rohrpost, wie sie z. B. in Berlin, Hamburg, Frankfurt (Main), Bremen, Köln und Leipzig sowie in vielen großen Städten des Auslands im Betrieb ist. Ihre Hauptbestandteile sind das Fahrrohr, die Rohrpostbuchse, die Luftdruckmaschine (Kompressor) und die Luftsaugmaschine (Exhaustor oder Vakuumpumpe). Die Maschinen werden durch Dampfkraft oder durch Motoren angetrieben. Ihre Größe richtet sich nach der in der Sekunde zu bewegenden Luftmenge. Die im Fahrrohre laufenden Buchsen oder Buchsenzüge, welche die Sendungen enthalten und hinter denen das Rohr durch die Buchsen selbst oder durch besondere Treiber luftdicht abgeschlossen ist, werden durch Druckluft oder atmosphärischen Überdruck (Vakuum), bei größeren Anlagen mit Fernverkehr auch durch beide fortbewegt. Die Geschwindigkeit hängt dabei von der Rohrweite und dem Luftdruck ab und schwankt zwischen 10 und 20 m in der Sekunde. Man unterscheidet Rohrpostsysteme mit Luftwechsel (Pendelbetrieb) und solche mit kreisendem Luftstrome. Bei dem wechselseitigen Betriebe mit Luftwechsel wird der Luftstrom bei jeder einzelnen Fahrt besonders erzeugt und unterbrochen. Die Maschinen werden dazu entweder vollautomatisch oder halbautomatisch ein- und ausgeschaltet. Im ersteren Falle geschieht dieses meist beim Einführen oder Ankommen der Buchsen. Beim halbautomatischen Betriebe erfolgt dagegen die Einschaltung des Motors durch Hand und die Ausschaltung selbsttätig durch die ankommenden Züge. Für die Hin- und Rückbeförderung der Buchsen sind etweder zwei gesonderte Fahrrohre vorhanden oder es werden die Züge in demselben Fahrrohre durch Druckluft abgesandt und durch atmosphärischen Überdruck geholt (Wendebetrieb), indem an dem einen Ende stets atmosphärische Spannung gehalten und am anderen abwechselnd Unterdruck oder Überdruck hergestellt wird. Bei dem Systeme mit kreisendem Luftstrome wird der Luftstrom dauernd im Rohre aufrechterhalten und zwar in der Regel durch atmosphärischen Überdruck. Zur Hin- und Rückbeförderung dienen dabei zwei getrennte Förderrohre. Die Zeichengebung erfolgt bei beiden Systemen durch optische und akustische Signale. Die nach dem vollautomatischen Systeme gebaute Rohrpostanlage in Leipzig (2,3 km)

Abbildung 3. Briefstempelmaschine von Sylbe.

besitzt z. B. eine rotierende Luftpumpe, die durch einen Elektromotor von 4,5 P.S. angetrieben wird und etwa 4—6 cbm Luft in der Minute bewegt. Saug- und Druckrohr sind mit einem Luftumschalter verbunden, der, je nach Bedarf, ihre Anschaltung an das Fahrrohr gestattet. Sobald der Luftumschalter umgelegt wird, schaltet sich der Elektromotor selbsttätig ein. Das Berliner Rohrpostnetz, das 73 Postämter Groß-Berlins untereinander verbindet, arbeitet mit Luftwechsel und kreisendem Luftstrom und besitzt 7 Maschinenstationen. Auf der größten Station sind zwei Maschinen aufgestellt, von denen die eine mit zwei Druckluftzylindern und die andere mit zwei Vakuumzylindern ausgerüstet ist. Der Druck der verdichteten Luft beträgt etwa eine Atmosphäre und derjenige der verdünnten Luft etwa 0,4 Atmosphären. Die Berliner Rohrpost umfaßt ein Fahrrohrnetz von 140 km Länge und Maschinenanlagen von zusammen 1550 P.S. Im Jahre 1910 wurden in Berlin rund 11 Millionen Sendungen mit Rohrpost befördert. Außer für den Fernverkehr werden Rohrpostanlagen vielfach auch im inneren Verkehre der Fernämter zur Beförderung von Ferngesprächszetteln und der Telegraphenämter zur schnellen Weitergabe von Telegrammniederschriften verwandt. Auch eigens hergestellte Untergrundbahnen werden zur Postbeförderung benutzt. Eine derartige elektrische Tunnelbahn zur Beförderung von Briefsendungen ist z. B. in München im Betrieb. Auf dem Wasser fällt die Postbeförderung mit der Schiffahrt zusammen. Die Seeschiffahrt bildet das überseeische Beförderungsmittel für die Post. Diese wird den Schiffen in den Häfen von bestimmten Ausgangspostanstalten in geschlossenen Beuteln zur Auslieferung an das Bestimmungsland überwiesen. Um die Zeit der Seefahrt auszunutzen, sind auf Anregung der deutschen Reichs-Postverwaltung 1891 für den transatlantischen Postverkehr auf den schnellfahrenden Dampfern der Hamburg-Amerika-Linie und des Norddeutschen Lloyd deutsch-amerikanische Seepostbureaus eingerichtet, in denen die Postsendungen während der Überfahrt von deutschen und amerikanischen Postbeamten bearbeitet werden. Nach ihrem Muster sind später auch auf den englischen und amerikanischen Schnelldampfern englisch-amerikanische Seeposten eingeführt. Für die Beförderung der Post erhalten die Schiffahrtsgesellschaften von den Postverwaltungen in der Regel besondere Vergütungen. Den von Deutschland durch eine Reichsbeihilfe von rund 8 Millionen Mark unterstützten Gesellschaften, und zwar dem Norddeutschen Lloyd für die Linien nach Ostasien, Australien und dem deutschen Schutzgebiete von Neu-Guinea, der Deutschen Ostafrika-Linie und einigen kleineren Linien im Osten (Jaluit-Gesellschaft), ist neben anderen verkehrstechnischen Anforderungen die Verpflichtung auferlegt, die Post unentgeltlich zu befördern. Frankreich zahlt an Postdampfersubventionen jährlich rund 53 und Großbritannien 34 Millionen Mark. Auf Luftwegen hat schon von jeher die Taube infolge ihres Ortssinns und ihrer Flugkraft zur Nachrichtenbeförderung gedient. Besonders militärischerseits wird der Bereithaltung größerer Bestände von Brieftauben in vielen Ländern große Aufmerksamkeit geschenkt. Um die Tauben im Fluge nicht zu behindern, werden die Nachrichten photographisch verkleinert und an den Schwanzfedern der Tiere befestigt. Am Bestimmungsort erfolgt die Entzifferung durch Vergrößerungsapparate. Die mechanischen Luftbeförderungsmittel, Motorluftschiffe und Flugmaschinen, haben zur Zeit nur militärische und sportliche Bedeutung. Als regelmäßige Postbeförderungsmittel sind sie noch nicht verwertet worden. Bei den bisherigen Flugposten handelte es sich nur um Versuche und vorübergehende Erscheinungen.

Die vierte Stufe des Beförderungsdienstes bildet sie sogenannte Entkartung am Bestimmungsort. Ihre Aufgabe besteht in der Öffnung der eingegangenen

Kartenschlüsse und Bunde, sowie in der Vorbereitung der Sendungen für die letzte Stufe: die Aushändigung an den Empfänger. Diese geschieht durch Abholung oder durch Bestellung. Die Sendungen werden für die Abholung entweder in gewöhnlichen, nur den Beamten zugänglichen Fächern oder in besonderen, mit Kunstschlössern versehenen Schließfächern bereit gehalten, die von den Abholern selbst geleert werden. Um den Boten die Einsicht in die Posteingänge zu entziehen, sind auch Schließfächer mit auswechselbaren, bei der Herausnahme sich selbsttätig schließenden Einsatzkasten (System Fuhrmann-Schulze) im Gebrauche. Bei der Bestellung fällt die Hauptarbeit den Fußboten (Stadt- und Landbriefträgern) zu. Um den Boten das Steigen der Treppen zu erlassen, werden in Frankreich die Sendungen für die Hausbewohner allgemein beim Pförtner abgegeben. Von besonderem Werte sind die Hausbriefkasten (an den Flurtüren und wie z. B. in Frankfurt [Main] im unteren Hausflur oder an der Tür des Vorgartens), die dem Postboten Zeit sparen und die Sicherheit der Bestellung erhöhen. In Budapest werden versuchsweise hydraulisch und elektrisch betriebene Briefzustellungsautomaten nach Art der Aufzüge benutzt.

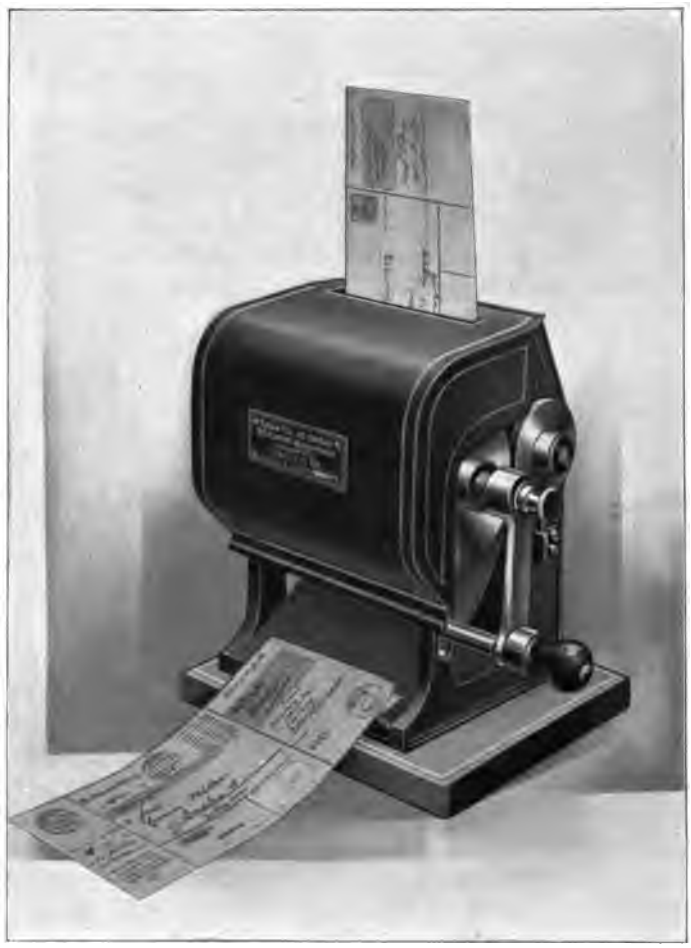


Abbildung 4. Postanweisungstempelapparat (Deutsche Post- und Eisenbahn-Verkehrswesen A.-G. Staaken-Berlin).

DER GELDVERMITTELUNGSDIENST hat sich als besonderer Zweig des Postdienstes weiterentwickelt. Seine Mittel sind Postanweisungen, Postbons, Zahlkarten und Schecks sowie zur Einziehung von Geldern: Nachnahmen und Postaufträge. Eine Mitsendung der Gelder findet dabei nicht statt. Der Ausgleich zwischen Absendungs- und Bestimmungsort erfolgt buchmäßig. Der Scheckdienst befindet sich außer in Deutschland gegenwärtig nur in Österreich-Ungarn, Luxemburg, der Schweiz und Japan in den Händen der Post. Die im Geldvermittelungsdienste durch Buchungen, Berechnungen und mechanische Handgriffe zu leistende gleichförmige Massenarbeit wird vielfach durch Maschinen ausgeführt. Bei der Annahme von Postanweisungen werden z. B. Numerierstempel mit selbsttätiger Zahlenumsetzung zum Abdrucke der Aufgabenummer und des Namens der Aufgabepostanstalt, sowie auch des Einlieferungs-

tags verwandt. Auch Postanweisungstempelapparate (1911 bei der Reichspost etwa 50) werden benutzt, in welche der Annahmebeamte die Anweisungen einschiebt und sie durch Kurbelumdrehung unter gleichzeitiger Entwertung der Marken mit dem Tagesstempel und der Aufgabenummer bedruckt (Abbildung 4). Bei Behandlung der ausgezahlten Postanweisungen werden die Beträge mit Zähl- und Addiermaschinen aufgerechnet.

Besondere Vorkehrungen sind zur schnellen Bearbeitung der Massen von Buchungsgegenständen bei den Scheckämtern getroffen. Auf den täglich zu Tausenden eingehenden Zahlkarten (in Berlin zurzeit 63000) wird z. B. der Eingangstag durch elektrische Spiralbohrmaschinen, die gleichzeitig 200 und mehr Karten lochen, gekennzeichnet. Der Tag ist dabei aus der Lage der Lochung zu ersehen. Zur Umrechnung von Kursen im internationalen Verkehre finden Multiplikationsmaschinen Verwendung. Mit Sprechmaschinen führen die Beamten Buchungen der Zahlkarten aus, die nur ein Drittel der Zeit erfordern, welche zur handschriftlichen Ausführung nötig wäre; die Walzen, von denen jede etwa 500 Einzelbuchungen aufnehmen kann, werden nach dem Besprechen einige Zeit zur Erledigung von Rückfragen aufbewahrt und dann nach Abschleifen mit einer elektrischen Abschleifmaschine von neuem benutzt. Hochdruckstempelmaschinen versehen die Zahlungsanweisungen der Scheckämter zur Erschwerung von Fälschungen mit farbigen Stempelabdrücken, bedrucken sie mit dem Abgangstempel und stapeln sie selbsttätig auf. Kopf- und Tiegeldruckpressen bedrucken die Zahlformulare mit Kontonummer, Namen und Wohnort des Kontoinhabers. Heftmaschinen dienen zur Verbindung der einzelnen Blätter der Scheck- und Überweisungshefte, und für die Öffnung der Masseneingänge von Briefen (beim Postscheckamte Berlin täglich etwa 8500) sind Schneidemaschinen vorhanden; um zu verhüten, daß in den geöffneten Umschlägen Einlagen zurückbleiben, werden sie vor der Vernichtung auf einem Glastische durchleuchtet. Die abgehenden, durch eine elektrische Adressiermaschine mit ihrer Bestimmung versehenen Briefe mit Kontoauszügen schließt man mit Briefschließmaschinen, die bei elektrischem Antrieb etwa 4200 Umschläge in der Stunde befeuchten, schließen und mit dem Firmenstempel des Amtes bedrucken. Bei dem Postscheckamte Berlin sind gegenwärtig 170 Maschinen in 16 verschiedenen Arten dauernd in Tätigkeit.

DIE NEBENDIENSTE DER POST. Die gleichartige und weitverzweigte Organisation der Post hat es mit sich gebracht, daß sie in Deutschland und vielen anderen Ländern eine Reihe von Nebendiensten versieht, die ihrer eigentlichen Aufgabe ferner liegen. In Deutschland sind es namentlich die Leistungen für das Reichsversicherungswesen (Verkauf der Versicherungsmarken und Rentenzahlung) und der Vertrieb der Reichswechselstempelmarken und statistischen Wertzeichen. In den meisten übrigen europäischen Staaten und in Japan befassen sich die Postverwaltungen auch mit dem Sparkassendienst, in Großbritannien und Irland sowie in Belgien außerdem mit dem Lebensversicherungs- und Rentengeschäft, in einigen südamerikanischen Republiken auch mit dem Büchervertrieb und in Luxemburg mit dem Arbeitsnachweise.

DER WELTPOSTVEREIN. Der Aufschwung des Handels im Weltverkehre führte zu einer allgemeinen Regelung der postalischen Beziehungen der einzelnen Länder untereinander. Die Hauptschwierigkeiten, die sich der Einigung der Völker zu einer Postgemeinschaft entgegenstellten, sind bei der Gründung des Weltpostvereins zu Bern 1874 überwunden worden. Der Weltpostverein, das großartigste Werk des ersten Leiters der deutschen Reichspost, Dr. v. Stephans, umfaßte 1910 ein Gebiet von

116½ Millionen Quadratkilometer mit 1228 Millionen Einwohnern. Außerhalb stehen noch einzelne kleinere afrikanische Staaten und China, das jedoch seinen Anschluß in Aussicht gestellt hat. Die wichtigste Frage, das Durchgangsrecht der Post durch fremde Länder, wurde dahin gelöst, daß die Freiheit des Durchgangs unter entsprechender Entschädigung der betroffenen Länder durch einheitlich festgelegte Transitgebühren gewährleistet und damit die Grundlage zu einem Einheitsporto und zum Wegfalle der Abrechnung zwischen den Vereinsländern gegeben wurde. Jedes Land behält die von ihm erhobenen Gebühren für Briefe, Postkarten, Drucksachen, Warenproben und Geschäftspapiere. Bei der Versendung von Wertbriefen, Postanweisungen, Wertpaketen, Zeitungen, Postnachnahmen und Postaufträgen ist allerdings eine Abrechnung bestehen geblieben, die indessen für die wichtigsten europäischen Staaten durch Vermittelung des Internationalen Postbureaus in Bern sehr vereinfacht wird. Die Wertzeichen der Vereinsländer werden in gleichmäßigen Farben für die entsprechenden Wertstufen hergestellt. Der Lösung des Problems einer einheitlichen Weltpostmarke stehen wegen der Währungsverschiedenheiten und der Gefahr des Überströmens der Marken aus den Ländern mit minderwertiger Geldwährung in die Goldwährungsländer anscheinend unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen.

2. DIE TELEGRAPHIE MIT LEITUNG

Mit dem Emporblühen von Handel und Verkehr wuchs das Bedürfnis nach einem noch schnelleren Mittel zum Nachrichtenverkehr, als es die Posten gewährten. Es war der Elektrizität vorbehalten, der Menschheit in der Telegraphie ein Nachrichtenmittel in die Hand zu geben, das sie dem Ziele, die Begriffe von Raum und Zeit zu verwischen, unendlich nahe brachte.

Schon kurze Zeit nach der Eröffnung der ersten Eisenbahn begann auch die Telegraphie ihren Siegeslauf, und heute umspannt sie den ganzen Erdball durch ein engmaschiges Netz von Drähten und Kabeln, dessen Länge auf mindestens 5,3 Millionen km geschätzt wird. Auf diesen Linien befördern 114500 Telegraphenanstalten jährlich über 395 Millionen Telegramme. Der Hauptteil der Telegraphenleitungen verläuft oberirdisch. Deutschland besaß 1910 rund 563000 km oberirdische Telegraphenleitungen. Daneben besteht ein über das ganze Reich ausgedehntes Netz von unterirdischen Telegraphenlinien, das bei jeder Witterung eine zuverlässige telegraphische Verbindung zwischen der Reichshauptstadt und den wichtigsten Industrie-, Handels- und Seestädten bildet. Die oberirdischen Telegraphenleitungen werden in der Regel zur eigenen Sicherheit an den Eisenbahnlinien oder an Kunststraßen geführt und zwar auf Isolatoren, die mit Schraubenstützen oder Querträgern an Holzgestängen befestigt sind. Als Leiter dient verzinkter Eisendraht von, je nach der Länge oder der Bedeutung der Leitung, 3—6 mm Durchmesser. Die unterirdischen Telegraphenlinien hatten anfangs Guttaperchaisolation und aus solchen Kabeln besteht auch das in der Zeit von 1876—1881 verlegte große deutsche unterirdische Telegraphenkabelnetz. Die Kabel enthalten 7 Aderlitzen aus je 7 Einzeldrähten. Wegen des stetig steigenden Preises der Guttapercha isolierte man die Telegraphenkabel seit 1895 mit Faserstoff (Jutehanf), der neben seiner Billigkeit den Vorzug eines bei gleicher Aderzahl bedeutend geringeren Querschnitts bot. Die Faserstoffkabel haben einen massiven Drahtleiter von 1,5 mm Durchmesser und enthalten 5, 10, 50 usw. Adern. Sie sind gegen Feuchtigkeit durch einen Bleimantel geschützt. Neuerdings verwendet man wegen der bei einer Faserstoffisolation beobachteten Seiteninduktion und ungünstig großen Kapazität für Telegraphenzwecke ebenso wie für die Fernsprechkabel mehr und mehr Luftraumkabel mit Papierisolation.

Von den Apparaten, die heute zur Telegrammbeförderung benutzt werden, ist der bekannteste der von dem Amerikaner Morse 1837 als Reliefschreiber erfundene und von Siemens durch Anbringung eines Farbräddchens verbesserte Schreibapparat (Farbschreiber), der über die ganze Erde verbreitet ist. Die heutige Morseschrift, die im Laufe der Zeit viele Wandlungen erfahren hat und die 1875 für den Weltverkehr angenommen wurde, wird dadurch hervorgerufen, daß die am Gebeorte durch eine von Hand zu bedienende Taste in die Leitung entsandten kürzeren und längeren Stromstöße (Arbeitstrom) oder die gleicherart verursachten Unterbrechungen eines dauernd in der Leitung fließenden Ruhestroms am Empfangsort auf einen Elektromagneten einwirken, der beim Anziehen oder Abstoßen seines Ankers durch eine Hebelübertragung das Farbrädchen kürzere oder längere Zeit auf einen sich fortbewegenden Papierstreifen drückt. Die auf dem Streifen gebildeten Punkte und Striche sind zu 62 verschiedenen Verbindungen zusammengestellt, welche Buchstaben, Zahlen und Zeichen bedeuten. Mit dem Morseapparate können 400—600 Wörter zu je 7 Buchstaben in der Stunde gegeben werden. Dem Morseapparat an Schnelligkeit (700—1000 Wörter in der Stunde), Sicherheit und auch an Billigkeit überlegen ist der Klopfer, dessen kräftiger Ankerhebel laut hörbar auf einen Ambos aufschlägt, so daß die Morsezeichen nach dem Gehör aufgenommen werden können. Punkt und Strich werden dabei durch einen verschiedenartigen Klang beim Anschlagen des Ankerhebels unterschieden. Im Arbeitstrombetriebe hat der Klopfer den Schreibapparat vollständig verdrängt. Für Kabelleitungen sowie für längere oberirdische und Ruhestromleitungen wird vielfach dem Klopfer ein Relais vorgeschaltet oder es werden polarisierte Klopfer verwandt. Für den großen Verkehr dient der 1856 durch den Amerikaner Hughes erfundene äußerst sinnreiche Hughesapparat, der die Telegramme mittels eines 56 Zeichen enthaltenden Typenrads auf einen Papierstreifen druckt und durch einen kleinen Elektromotor angetrieben wird. Zum Geben dient ein klavierartiges Tastenwerk, dessen Tasten rund gestellte Stifte aufrichten, über denen ein Kontaktschlitten kreist. Sobald der Schlitten einen hochgedrückten Stift berührt, wird der eigene Apparat elektrisch oder mechanisch ausgelöst und ein Stromstoß über die Leitung durch den Elektromagneten des Empfängers gesandt. Der Papierstreifen des Gebers sowohl wie des synchron laufenden Empfängers schnellt durch mechanische Übertragung der Bewegung des Ankerhebels gegen das sich drehende Typenrad und zwar gerade in dem Augenblick, in dem sich das mit der Taste gegebene Zeichen in Druckstellung befindet. Bei den in der Minute üblichen 120 Umdrehungen des Schlittens können etwa 1000—1500 Wörter zu je 7 Buchstaben in der Stunde gegeben werden.

Mehrere Telegramme gleichzeitig auf derselben Leitung zu befördern, bezweckt die Mehrfachtelegraphie. Die dabei benutzten Apparatsätze sind entweder dauernd mit der Leitung verbunden (gleichzeitige Mehrfachtelegraphie) oder sie werden durch auf beiden Leitungsenden synchron und isochron laufende Verteiler nacheinander in regelmäßigem, schnellem Wechsel vorübergehend an die Leitung angeschaltet (wechselzeitige oder absatzweise Mehrfachtelegraphie). Man unterscheidet bei der gleichzeitigen Mehrfachtelegraphie, je nach Richtung und Anzahl der gleichzeitig übermittelten Telegramme, das Gegensprechen, das Doppelsprechen, das Doppelgegensprechen und das System von Mercadier. Beim Gegensprechen (Duplextelegraphie) werden zwei Telegramme in entgegengesetzter Richtung befördert und zwar entweder in der Differential- oder Brückenschaltung. Bei der älteren von Frischen und Werner Siemens angegebenen Differentialschaltung haben die Empfangsapparate Elektromagnete mit

doppelten Wickelungen. Der Sendestrom verzweigt sich am Gebeorte und durchfließt zunächst die beiden Wickelungen des eigenen Apparats im entgegengesetzten Sinne, übt also keine Wirkung auf den eigenen Empfangsapparat aus. Dann geht der eine Zweigstrom weiter zum fernen Amte und der andere durch eine künstliche Leitung, d. h. durch eine besondere Anordnung von Widerstand und Kapazität, welche den elektrischen Eigenschaften der natürlichen Leitung und des fernen Amtes entspricht, zur Erde. Die am Empfangsort ankommenden Ströme fließen hauptsächlich nur durch eine Wickelung des Empfangsapparats und bringen diesen zum Ansprechen. Die Brückenschaltung stammt von Maron und verwendet das Prinzip der Wheatstoneschen Brücke in der Weise, daß sich jedem abgehenden Strome wie bei der vorigen Schaltung ebenfalls auf dem eigenen Amte zwei Wege bieten, einmal von dem Scheitelpunkte der Brücke durch den einen Brückenarm und die Leitung zum fernen Amte und zum andern durch den zweiten Brückenarm und eine künstliche Leitung zur Erde. Der Empfangsapparat liegt in der Brücke selbst und wird nur durch die ankommenden Ströme betätigt. Die Seekabel werden sämtlich nach einer der beiden Gegensprechschaltungen betrieben. Die künstliche Leitung bilden dabei künstliche Kabel mit einer auf das wirkliche Kabel genau abgeglichenen Vereinigung von Widerstand und Kapazität. Auf kürzeren Seekabeln, unterirdischen sowie oberirdischen Leitungen wird neben dem Morseapparate namentlich der Hughesapparat in großem Umfange zum Gegensprechen benutzt. Die deutsche Telegraphenverwaltung bevorzugt bei oberirdischen Leitungen die Brückenschaltung, bei Kabeln die Differentialschaltung mit Doppelstrombetrieb. Das Doppelsprechen (Diplextelegraphie), dessen einfachste Schaltung von Edison herrührt, gestattet die gleichzeitige Abgabe von zwei Telegrammen in derselben Richtung, wird jedoch selten allein, sondern meistens in Verbindung mit dem Gegensprechverfahren angewandt und zwar sowohl mit der Brückenschaltung (Edison und Prescott) als auch mit der Differentialschaltung (Garret Smith). Das auf diese Weise ermöglichte Doppelgegensprechen (Quadruplextelegraphie), das besonders in Amerika und England stark entwickelt ist, gestattet, gleichzeitig zwei Telegramme in beiden Richtungen abzugeben. Als Apparate dienen hierbei Morse, Klopfer, Hughes und Heberschreiber. Beim Morsebetriebe können 1500—2000 und mit Wheatstonesendern bis 9000 Wörter in der Stunde befördert werden. Das System der Mehrfachtelegraphie von Mercadier verwendet harmonische Induktionsströme, die durch Stimmgabelunterbrecher von verschiedener Tonhöhe erzeugt werden. Zum Empfange dienen Monotelephone, die einzeln auf die Stimmgabeln abgestimmt sind und daher nur auf die für sie bestimmten Wechselströme ansprechen. Das Mercadiersystem wird in Frankreich praktisch verwandt. Auf der Strecke Paris—Marseille werden mit diesem Systeme zwölf Telegramme gleichzeitig übermittelt und mit Morse oder Hughes aufgenommen.

Der wichtigste Vertreter der wechselzeitigen Mehrfachtelegraphie ist der von dem französischen Telegrapheningenieur Baudot erdachte Mehrfachtypendrucker, der als zwei-, drei-, vier- oder sechsfacher Telegraph, je nach der Anzahl der durch den Verteiler anzuschaltenden Apparate, betrieben wird. Der Geber enthält fünf Tasten, mit denen 31 verschiedene Zeichengruppen nach einem besonderen Alphabete gegeben werden können, die entsprechend der vorher niedergedrückten Buchstaben- oder Zahlenblanktaste Buchstaben oder Zahlen und Zeichen bedeuten. Jede Taste ist mit einem Kontaktstück eines Verteilerrings verbunden. Durch einen über den Verteiler schleifenden, mit Metallbürsten versehenen Verteilerarm werden die einzelnen Kontaktstücke nacheinander in schneller Folge mit der Leitung verbunden. Bei jedem Verteilerumlaufe

werden auf diese Weise von jedem Geber fünf Stromstöße, und zwar, je nachdem die Tasten gedrückt sind oder nicht, positive und negative, in die Leitung entsandt. Am Empfangsorte wird die Leitung durch einen mit dem der Gebestation synchron und isochron laufenden Verteilerarm über fünf Kontaktstücke eines zweiten Verteilerrings mit den fünf Druckelektromagneten des Übersetzers verbunden. Der Übersetzer liefert gedruckte Buchstaben und Zeichen auf einem Papierstreifen. Die Höchstleistung eines einzelnen Baudotapparats beträgt bei drei Umläufen in der Sekunde 1540 Wörter zu je 7 Buchstaben in der Stunde. Praktisch werden jedoch nur 1000—1200 Wörter erreicht, so daß ein vierfacher Baudotapparat 4000—4800 Wörter in der Stunde leistet. In längere Leitungen werden Übertragungen besonderer Bauart eingeschaltet. Ebenso werden lange Kabel wegen ihrer hohen Ladefähigkeit, die auf die schnellen und sehr kurzen Stromstöße des Baudotgebers verzerrend wirkt, in einzelne Teilstrecken zerlegt und diese durch Übertragungsrelais miteinander verbunden. Der Baudotapparat ist am weitesten in Frankreich verbreitet (annähernd 700 Apparate); namentlich werden viele französische Auslandsleitungen, u. a. die Leitungen von Paris nach Berlin und Cöln, mit ihm betrieben. Eine größere Anwendung hat der Baudotapparat auch in Italien, Rußland und Brasilien gefunden. In Deutschland sind neben den bereits erwähnten noch die Leitungen Berlin—Cöln, Berlin—Emden, Berlin—Warschau, Berlin—Basel—Zürich (Staffelschaltung) und Berlin—London für den Baudotbetrieb eingerichtet. Die Kabel Berlin—Cöln und Berlin—Emden sowie die Verbindung Berlin—London werden mit Duplex-Zweifach-Baudot in Differentialschaltung betrieben. Die Vorzüge des Baudotapparats werden in letzter Zeit immer mehr erkannt; seine Ausbreitung wächst daher namentlich in Europa und Asien ständig. Zu den Mehrfachtypendruckern gehört auch der von dem amerikanischen Professor Rowland erfundene Telegraph, der in Verbindung mit dem Gegensprechverfahren gleichzeitig acht Telegramme, vier in jeder Richtung, befördern kann. Der Empfangsapparat druckt die Zeichen auf eine breite Papierrolle.

Eine wesentliche Steigerung der Telegraphiergeschwindigkeit wird mit den Maschinentelegraphen dadurch erzielt, daß sie die Telegraphierströme mit Hilfe eines besonders gestanzten Papierstreifens durch einen Gebeapparat selbständig in die Leitung senden und die menschliche Hand bei der Abgabe der Telegramme vollständig ausschalten. Da die Lochstreifen jedoch durch Beamte vorbereitet werden müssen, gewähren die Schnelltelegraphen besondere Vorteile nur da, wo das Hauptgewicht auf die Ausnutzung langer, kostspieliger Leitungen gelegt wird. Die weiteste Verbreitung hat der Schnelltelegraph des englischen Professors Charles Wheatstone gefunden. Durch einen Lochapparat mit drei Tasten werden mit zwei Handstempeln in einen Papierstreifen zweireihige Löchergruppen gestanzt, welche die Zeichenelemente (Striche und Punkte) nach dem Morsealphabete bilden. Der so vorbereitete Streifen läuft mit beliebig veränderlicher Geschwindigkeit durch einen Sendeapparat über zwei Stößer, die, sobald sie auf ein Telegraphierloch stoßen, einen Zeichen- oder Trennstrom in die Leitung senden (Doppelstrom). Als Empfänger dient ein empfindlicher polarisierter Schreibapparat mit großer Laufgeschwindigkeit, der Morsezeichen auf einen Papierstreifen schreibt. Die Leistung beträgt etwa 7000—8000 Wörter in der Stunde. In Deutschland sind einige wichtige Auslandsleitungen z. B. von Berlin nach Odessa, Moskau, Pera, Kopenhagen und Bukarest mit Wheatstoneapparaten ausgerüstet. In größerem Umfange wird der Apparat in den nordischen Ländern, in Amerika und in England benutzt. Ferner wird die indo-europäische Telegraphenlinie London—Kurrachee (8652 km), die mit 13 Übertragungen über Emden, Berlin, Odessa und Teheran fast ausschließlich

oberirdisch verläuft, mit Wheatstoneapparaten bei einer Telegraphiergeschwindigkeit von 2500 Wörtern in der Stunde betrieben. In Verbindung mit dem Wheatstonegeber liefert der u. a. in England und Dänemark eingeführte Empfänger von Creed (Lenzie, Schottland) einen mit dem Sendestreifen genau übereinstimmenden Lochstreifen. Die Stanzung der Löcher erfolgt dabei durch Preßluft. Der so entstandene Lochstreifen kann als Sendestreifen für einen Übersetzer (Geber) zur Weitergabe der Telegramme dienen oder als Empfangstreifen in einem Drucker Druckbuchstaben auf ein Papierband übertragen. Der Rechtsanwalt Buckingham (New York) verwendet zur Vorbereitung der Lochstreifen für den von ihm erfundenen Schnelltelegraphen einen Tastenlocher, der Tasten nach Art der Schreibmaschine hat und beim Drucke auf eine Taste gleich die Löchergruppe für ein Zeichen auf einmal stanzt. Die Kraft liefern dabei Elektromagnete. Zum Abgeben der Telegraphierzeichen dient ein Wheatstonesender. Der Empfänger trägt auf seiner Achse fünf kleinere Typenräder mit je acht Typen, die zum Abdrucke durch fünf Einstellelektromagnete entsprechend verschoben werden. Der Apparat druckt die Telegramme unmittelbar auf Blätter und leistet z. B. auf der 1571 km langen Leitung New York—Chicago der Western Union Telegraph Co. im Gegensprechbetrieb etwa 5400 Wörter in der Stunde. Seine volle Leistungsfähigkeit beträgt etwa das Doppelte. Eine wesentliche Verbesserung bildet der von dem Telegrapheningenieur Donald Murray aus Sydney erfundene Schnelltelegraph. Der Tastenlocher stanzt beim Niederdrücken einer Taste ebenso wie bei Buckingham gleich ganze aber einreihige Löchergruppen. Der Streifen läuft im Sender über einen Hebel, der beim Auftreffen auf ein Telegraphierloch einen Kontakt schließt und einen Stromstoß in die Leitung sendet. Murray verwendet für alle Zeichen fünf positive oder negative Einheiten in 32 Zusammenstellungen, die nach einem besonderen Alphabet entweder Buchstaben oder Zahlen und Zeichen bedeuten. Ein Wort mit sechs Zeichen erfordert durchschnittlich beim Wheatstonealphabet (Morse) rund 57, dagegen bei Murray nur 35 Einheiten. Das Murrayalphabet ist also wesentlich kürzer. Der Empfänger liefert einen mit dem Sendestreifen übereinstimmenden gestanzten Lochstreifen, dessen Löchergruppen in einem Übersetzer, der aus einer gewöhnlichen Schreibmaschine (Bar-Lock-Maschine) und einer Zusatzmaschine besteht, mechanisch auf Blätter in Typendruck übertragen werden. Der Murrayapparat leistet im praktischen Betriebe mehr als das Doppelte des Hughesapparats und befördert z. B. auf der Linie Berlin—Petersburg etwa 4200 Wörter in der Stunde. Außerdem ist er in Deutschland auf den Leitungen Berlin—Hamburg, Berlin—Frankfurt (Main) und Frankfurt (Main)—Hamburg eingeführt. Bei dem von den beiden ungarischen Ingenieuren Pollak und Virág erfundenen Schnelltelegraphen durchläuft ein mit sechs Reihen von Telegraphierlöchern versehener Lochstreifen einen Sender mit sechs Kontaktbürsten, die mit verschiedenen Batterien verbunden sind und Stromstöße in zwei Gruppen in die Doppelleitung senden. Die Stromstoßgruppen beeinflussen am Empfangsorte zwei Fernhörermembrane, die beide mit einem Spiegel verbunden sind. Die eine Membran dreht den Spiegel in senkrechter, die andere in wagerechter Richtung. Wirken beide Membrane zu gleicher Zeit auf den Spiegel ein, so bewegt sich dieser in der Weise, daß ein von ihm ausgehender Lichtstrahl Linien beschreibt. Durch die resultierende Bewegung werden kleine lateinische Schriftzeichen gebildet, die durch den Lichtpunkt auf einen sich fortbewegenden Papierstreifen geschrieben und photographiert werden. Mit dem Apparate sollen sich bis 45000 Wörter in der Stunde befördern lassen. Großes Interesse verdient der neueste Schnelltelegraph von Siemens & Halske A.-G. (Abbildung 5 und 6). Die Lochgruppen des Streifens werden mit Hilfe

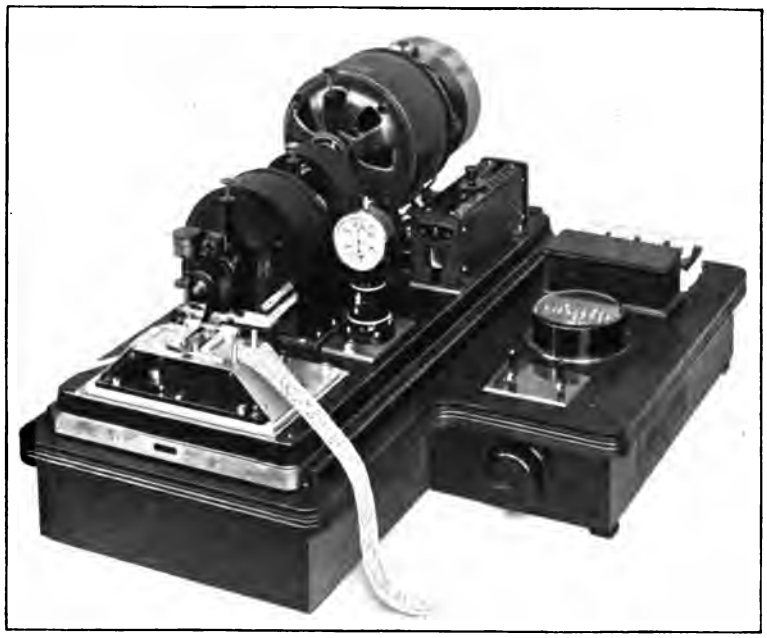


Abbildung 5. Sender des automatischen Maschinen-Typendrucktelegraphen von Siemens & Halske A.-G., Berlin.

Vorn der durchlochte Sendestreifen, der über die Stahlschuhe von 5 Fühlhebeln hinweggezogen wird, weiter hinten das Gehäuse für die Senderscheibe mit 2 Kontaktringen und für den mit seinen beiden Bürsten auf den Ringen schleifenden Bürstenarm. Daneben der Geschwindigkeitsmesser, ganz hinten der Elektromotor mit Schwungscheibe und rechts das Senderrelais.

eines Schreibmaschinen-Tastenlochers durch Elektromagnete gestanzt. Im Sender wird der fünfreihige Lochstreifen über fünf Fühlhebel hinweggezogen, die mit fünf Segmenten einer Kontaktscheibe in Verbindung stehen. Ein über diese schleifender Bürstenarm verbindet die Segmente und damit die Fühlhebel in schneller Folge mit einem Geberrelais. Trifft ein Fühlhebel auf ein Telegraphierloch, so fließt ein Strom über den Bürstenarm zum Relais und dieses sendet einen Strom positiver oder negativer Richtung, d. h. einen Trenn- oder Zeichenstrom, in die Leitung. Während einer Bürstenumdrehung gelangt, je nach der Anordnung der Löchergruppen, eine besondere, einem bestimmten Zeichen entsprechende Kombination von Strömen verschiedener Richtung nach dem fernen Amte. Die ankommenden Stromstöße fließen am Empfangsorte durch ein polarisiertes Linienrelais, das über einen mit dem der Gebestation infolge einer sinnreichen selbsttätigen Einrichtung synchron laufenden Verteiler fünf polarisierte Übersetzerrelais steuert. Die Zungen dieser Relais sind mit je einem Segmentkreis einer Übersetzerscheibe verbunden, über die ein Bürstenarm mit fünf Bürsten schleift. Sobald sich die Relaiszungen auf eine bestimmte Stromkombination eingestellt haben,

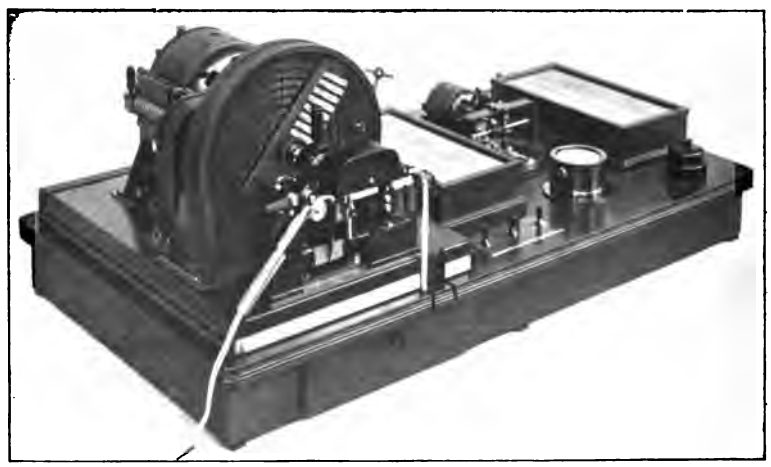


Abbildung 6. Empfänger des automatischen Maschinen-Typendrucktelegraphen von Siemens & Halske A.-G., Berlin.

Vorn links die Druckvorrichtung, bei der zum Abdruck eines aufgenommenen Zeichens der elektromagnetische Druckhammer den Papierstreifen schnell gegen das dauernd umlaufende Typenrad preßt, dahinter das Gehäuse für die Übersetzerscheibe mit 8 Kontaktringen und für den auf den Ringen mit seinen 8 Federn schleifenden Bürstenarm, weiter hinten der Elektromotor. Rechts die Gehäuse mit den Aufnahme- und Regulierrelais.

sind durch sie die Schleifringe der Übersetzerscheibe so untereinander verbunden, daß bei einer bestimmten Stellung des Bürstenarms ein Strom durch den Druckelektromagneten fließt und ihn erregt. Gerade in diesem Augenblicke befindet sich aber an dem mit dem Bürstenarme gekuppelten Typenrade derjenige Buchstabe, welcher der Stromkombination entspricht, in Druckstellung und wird abgedruckt. Der neue Schnelltelegraph, der 6000 Wörter in der Stunde abgeben und am Empfangsorte auch Lochstreifen liefern kann, ist kürzlich auf den Kabelleitungen Berlin—Düsseldorf und Berlin—Breslau eingeführt worden.

In verschiedenen Ländern sind Drucktelegraphen im Betriebe, die sich besonders wegen ihrer einfachen und eine Vorkenntnis nicht erfordernden, schreibmaschinenartigen Bedienung zum unmittelbaren Gebrauche durch das Publikum eignen. In Deutschland hat weitere Verbreitung der Ferndrucker von Siemens & Halske A.-G. gefunden (Abbildung 7), der zugleich als Geber und Empfänger dient und mit Selbstauslösung arbeitet. Seine Tasten sind alphabetisch angeordnet. Der Ferndrucker wird im deutschen Reichs-Telegraphengebiet in Nebentelegraphenanlagen und zur Vermittelung des Stadttelegrammverkehrs, z. B. in Berlin, verwandt. Ferner ist in Bremen 1908 eine reichseigene Ferndrucker-Vermittelungstelle mit Klappenschrank und Gruppenschaltern eingerichtet, durch welche Schiffsmeldungen verbreitet werden. In Berlin besteht eine Privatgesellschaft, Elektrischer Ferndrucker G. m. b. H., welche Börsen-, Handels- und Zeitungsnachrichten ihren Anschlußteilnehmern übermittelt sowie diese untereinander und mit dem Haupttelegraphenamte verbindet. Eine ähnliche Ferndruckeranlage ist durch die A.-G. C. Lorenz für den Berliner Polizeinachrichtendienst eingerichtet worden. Erwähnt seien auch noch die Ferndrucker von Steljes und die Telegrammschreibmaschine von Cerebotani sowie der Börsendrucker, ein kleiner Drucktelegraph für Teilnehmer, der die von einer gemeinschaftlichen Zentrale aus gegebenen Börsenkurse, wichtigen Handels- und politischen Nachrichten selbständig aufnimmt.

Abbildung 7. Elektrischer Ferndrucker von Siemens & Halske A.-G., Berlin.

Zur Übermittelung der eigenen Handschrift und von Umrißzeichnungen auf Leitungen werden Fernschreiber praktisch verwandt, welche die Bewegungen eines Schreibstifts in der 1893 zuerst von Elisha Gray angewandten Weise durch zwei mit Gelenken am Schreibstifte befestigte Arme in zwei unabhängige, zueinander senkrechte

Komponenten zerlegen. Der Apparat von Cerebotani läßt die beiden Arme auf Zahnräder wirken, die den Ohmschen Widerstand in den zugehörigen Zweigfernleitungen sprungweise verändern. Die hierdurch entstehenden Stromstöße werden am Empfangsorte durch Zahnräder wieder in die Komponenten umgesetzt, so daß der mit diesen verbundene Schreibstift die gleichen Bewegungen ausführt. Dieselbe Zerlegung benutzt auch der Fernschreiber von Gruhn. Einen neuerdings von der A.-G. Mix & Genest in den Handel gebrachten Fernschreiber zeigt Abbildung 8. Die Stromänderungen, welche durch die beiden mit dem Sendestifte verbundenen Hebelarme hervorgerufen werden, wirken am Empfangsort auf zwei Spulen, deren Tauchkerne ihre Bewegungen unmittelbar auf den Schreibstift des Empfängers übertragen. Beide Schreibstifte führen somit die gleichen Bewegungen aus. Fernschreiber-Vermittelungstellen sind u. a. in England und Amerika eingerichtet. In London besteht seit vielen Jahren die National Telewriter Co. mit zurzeit 50 Anschlüssen.

Auch Photographien und Strichzeichnungen sind auf Drahtleitungen mit Erfolg übertragen worden. Die beiden Gruppen der hierzu dienenden Apparate unterscheiden sich vornehmlich in der Art des Senders und zwar geben die fernphotographischen Apparate die verschiedenen Helligkeitstufen eines Bildes wieder, während die eigentlichen Telautographen das Bild durch Raster in einzelne Punkte oder Striche auflösen und es als Schwarzweißbild übertragen. Der vollkommenste fernphotographische Apparat ist derjenige von Professor Korn. Das zu übertragende Bild wird als Film auf eine sich drehende gläserne Walze gespannt und von außen durch einen Lichtstrahl Punkt für Punkt durchleuchtet. Der beim Durchgange durch den Film in seiner Helligkeit veränderte Lichtstrahl fällt auf eine im Innern der Walze angebrachte Selenzelle, welche die Lichtschwankungen in Schwankungen elektrischer Energie umsetzt und in die Leitung überträgt. Die Ströme fließen im Empfänger durch einen zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten ausgespannten, ganz dünnen Silberbronzefaden, dessen Schattenbild einen Spalt im Empfangskasten abschließt (Lichtrelais). Durch die beim Durchfließen der Ströme entstehenden Bewegungen des Fadens wird der Spalt mehr oder weniger freigegeben, so daß ein veränderlicher Lichtstrahl in die Kammer eindringt, der auf dem Filme der Empfängerwalze photographisch festgehalten wird. Geber- und Empfängerwalze laufen synchron. In dieser Weise sind Bilder auf eine Entfernung von 1500 km auf einer Fernsprechleitung mit gutem Erfolg übertragen worden. Stationen für die Kornsche Fernphotographie befinden sich gegenwärtig in Berlin, München, Paris, Kopenhagen, Stockholm, London, Manchester und Monte Carlo.

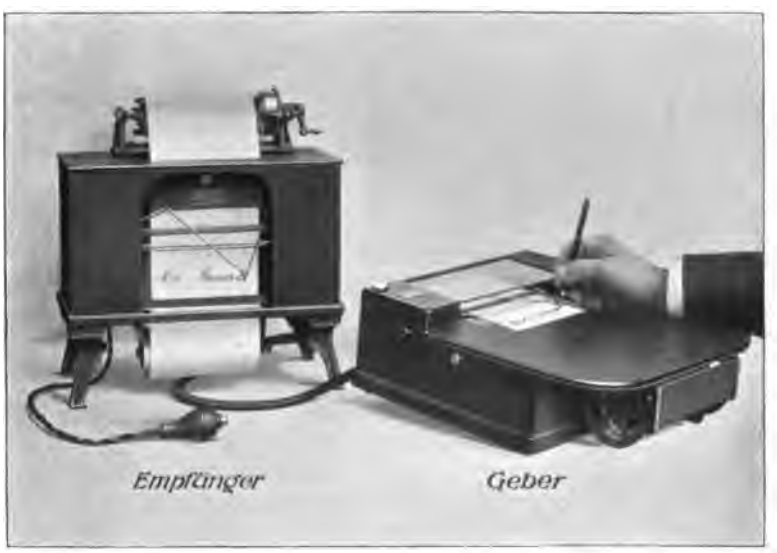


Abbildung 8. Elektrischer Fernschreiber von Mix & Genest A.-G., Berlin.

Die Telautographen oder Kopiertelegraphen benutzen als Geber fast durchweg das Prinzip von Bakewell (1847) und Caselli (1856). Die Zeichnung wird dabei mit einem nichtleitenden Stoffe auf einen drehbaren Metallzylinder übertragen, auf dessen Mantel ein Metallstift schleift und alle Punkte der Zeichnung in engen Spirallinien abtastet. Trifft der Stift auf einen Teil der Zeichnung, so wird ein sonst dauernd über den Stift und die Metallwalze fließender Strom unterbrochen. Auf diese Weise entstehen in der Fernleitung Stromschwankungen, die am Empfangsort über eine sich mit dem Geberstifte synchron bewegende Elektrode Farbänderungen auf der mit einem Elektrolyten angefeuchteten Papierfläche des Empfängers hervorbringen. Eine ähnliche Geberanordnung benutzen u. a. die Telautographen von Korn, Thorne-Baker und Sémat. Belin ersetzt den Stift durch ein Tasträdchen, das entsprechend den reliefartigen Erhebungen und Vertiefungen, welche die hellen und dunklen Töne des Bildes wiedergeben, ein besonders empfindliches Kohlenkörnermikrophon beeinflußt und hierdurch die Stromschwankungen verursacht. Als Empfangsapparat dient ihm ein empfindliches Drehspuleninstrument mit Spiegel. Eine wesentliche Verbesserung stellt die Benutzung des bei der Fernphotographie verwandten Lichtrelais von Professor Korn dar. Die Leistung dieses Lichtrelais ist durch Professor Glatzel so gesteigert worden, daß es 1000—2000 Zeichen in der Sekunde wiedergeben kann (Abbildung 9). Da bei langen Leitungen die Kapazität und die Ableitung einer Übertragung von mehr als 1000 Zeichen in der Sekunde hinderlich sind, bleibt die telautographische Methode hauptsächlich auf gut isolierte kürzere Leitungen beschränkt, während auf längeren Leitungen die mit geringeren Strom-

Abbild. 9. Telautographie nach Prof. Korn, natürliche Größe (übertragen auf einer Fernleitung von Monte Carlo nach Paris in etwa 15 Minuten).

stärken arbeitende Selenmethode den Vorzug verdient. Würde die Folge der zu übertragenden Lichteindrücke so gesteigert, daß sämtliche Punkte eines Bildes (annähernd 10—20000) während der Dauer einer Lichtwirkung im Auge, d. h. in $^1/_{10}$ Sekunde, an dem Empfangsorte wiedergegeben werden könnten, so entstände ein kinematographisches Bild und man könnte fernsehen. Die praktische Verwendung der vielen zur Lösung dieses Problems geschaffenen Versuchsapparate ist jedoch bisher an der Trägheit der vorerst wohl allein in Frage kommenden Selenzellen gegenüber den raschen Lichteindrücken und an der Selbstinduktion der Leitungen gegenüber den schnell aufeinander folgenden Stromstößen gescheitert.

Eine besondere Stellung nimmt die Unterseetelegraphie ein. Der Kupferleiter der Unterseekabel besteht aus einer Litze von Kupferdrähten oder wie bei dem ersten deutsch-amerikanischen Kabel aus einem stärkeren Mittelleiter, der von Drähten besonderer Form spiralig umwunden ist. Durch die letztere Anordnung wird in dem gleichen Querschnitte mehr Kupfer untergebracht, so daß man an Guttapercha, die ausschließlich als Isoliermittel in Frage kommt, sparen und die Ladungskapazität außerdem verringern kann. Die Guttapercha wird gewöhnlich in drei Schichten auf den Kupferleiter aufgebracht. Die Stärke der äußeren Bewehrung, die aus verzinkten Eisen- oder Stahldrähten besteht, richtet sich nach der Tiefenlage des Kabels. Lange Unterseekabel werden wegen der gegenseitigen Induktion stets nur aus einer Ader gebildet (Abbildung 10), während kürzere Kabel mehrere (drei bis vier) gegen Induktion besonders geschützte Adern erhalten. Man unterscheidet bei jedem Unterseekabel die einzelnen Teilstrecken: Tiefseekabel, Zwischenkabel, Küstenkabel und Endkabel. Die sich an lange einadrige Unterseekabel anschließenden Küstenkabel (Abbildung 11) sind meist zweiadrig und zwar wird die zweite als Erdleitung dienende Ader zwei bis drei Meilen von der Küste entfernt mit den Bewehrungsdrähten des Unterseekabels verlötet, eine Maßnahme, die durch die Störungen infolge der vagabundierenden Ströme und der Induktion erforderlich ist. Die Lebensdauer der Seekabel richtet sich nach der Art der Herstellung und den örtlichen Verhältnissen. Man schätzt sie bei Tiefseekabeln auf etwa 40 Jahre, bei Flachsee- und Küstenkabeln, die häufigeren Beschädigungen ausgesetzt sind, auf etwa 25 Jahre. Während früher England in der Herstellung und Verlegung von Seekabeln ein Monopol hatte, besitzt Deutschland seit der Wende des vorigen Jahrhunderts eine eigene Seekabelfabrik in den Norddeutschen Seekabelwerken A.-G. Von den zur Instandhaltung und Verlegung der Seekabel vorhandenen 57 Kabelschiffen sind 16 im Staatsbesitz, 31 im Besitze von Kabelgesellschaften und 10 gehören Kabelfabriken (darunter in Deutschland 2). Die Sprechgeschwindigkeit, d. h. die Schnelligkeit der Zeichenübermittelung, steht bei Kabeln in umgekehrtem Verhältnisse zur Kapazität (K) und dem Ohmschen Widerstande (R) (KR-Gesetz von William Thomson). Da beide Größen mit der Länge des Kabels wachsen, so nimmt die Sprechgeschwindigkeit mit dem Quadrate der Länge des Kabels ab. Die Kapazität ist von der Stärke der isolierenden Guttaperchahülle und der Widerstand

Abbild. 10. Zweites deutsch-atlantisches Kabel, Tiefseekabel (hergestellt und verlegt 1904 von den Norddeutschen Seekabelwerken Nordenham).

von derjenigen des Kupferleiters abhängig. Guttapercha und Kupfer bestimmen demnach die Leistungsfähigkeit eines Kabels und das Ziel der Kabeltechnik ist darauf gerichtet, mit möglichst wenig Guttapercha und Kupfer eine möglichst große Sprechgeschwindigkeit zu erreichen. Das Gewicht von Guttapercha und Kupfer wird für eine Seemeile in englischen Pfunden angegeben. So besteht die Teilstrecke Borkum—Teneriffa des deutsch-südamerikanischen Kabels von 1909 mit einer Sprechgeschwindigkeit von 135 Buchstaben in der Minute aus der Type $\frac{\text{500 lbs Kupfer}}{\text{315 lbs Guttapercha}}$ für die Seemeile, und das 1911 verlegte Kabelstück Monrovia—Pernambuko (Sprechgeschwindigkeit 150 Buchstaben) weist die Type $\frac{360}{250}$ auf. Die Herstellungskosten von 1 km Tiefseekabel betragen heute etwa 2500 Mark. Die größte praktisch in Frage kommende Länge für ein Seekabel von mittlerer Sprechgeschwindigkeit sind etwa 4000 bis 5000 km. Das längste direkte Seekabel ist die Teilstrecke des englischen Pazifickabels Vancouver—Fanning mit 6400 km und einer Sprechgeschwindigkeit bei Einfachbetrieb von 100 Buchstaben in der Minute. Auf sehr weite Entfernungen werden die Kabel nicht in einer Strecke durchgeführt, sondern, wie z. B. die deutsch-atlantischen Kabel in Horta auf der Azoreninsel Fayal, auf Zwischenstationen gelandet. Zur Vermeidung von Umtelegraphierungen auf diesen Zwischenstationen, die Fehler und Verzögerung verursachen, werden die Telegramme selbsttätig durch das Trommelkabelrelais von Brown von einem Kabel auf das andere übertragen.

Abbild. 11. Zweites deutsch-atlantisches Unterseekabel, Küsten-Endkabel (hergestellt und verlegt 1904 von den Norddeutschen Seekabelwerken Nordenham).

Der Betrieb auf langen Unterseekabeln erfordert besondere Vorkehrungen. Um die Ladedauer beim Geben der Telegraphierzeichen zu verkürzen und die Isolation so wenig wie möglich zu beanspruchen, werden bei der Kabeltelegraphie nur schwache Ströme und niedrige Spannungen (bis 50 Volt) angewandt. Die Rückströme, die auch bei schwachen Telegraphierströmen durch die Entladung entstehen und die Zeichengebung verzögern, macht man dadurch unschädlich, daß nach jedem Zeichen ein dem Zeichenstrom entgegengesetzter Zwischenzeichenstrom in das Kabel entsandt wird oder daß die Punkte und Striche des Morsealphabets nicht durch Stromstöße verschiedener Länge, sondern verschiedener Richtung (positiv und negativ) gegeben werden. Zum Geben der Zeichen dient entweder eine Doppeltaste oder ein automatischer Sender und zwar der Wheatstonegeber oder der von Taylor angegebene Curbsender. Auch die Empfangsapparate sind beim Kabelbetriebe von besonderer Art. Die gewöhnlichen auf der Magnetisierung eines Elektromagneten beruhenden Telegraphenapparate sind wegen der für sie erforderlichen starken Ströme nicht verwendbar. Schon 1858 baute daher William Thomson (Lord Kelvin) das Sprechgalvanometer, einen Nadeltelegraphen mit Spiegelablenkung. Da das Ablesen der Lichtzeichen jedoch sehr ermüdet und außerdem der Apparat keine dauernden Zeichen hinterläßt, wird das Sprechgalvanometer nur noch wenig verwandt. Als Empfangsapparat für sehr lange Seekabel dient heute der ebenfalls von Thomson angegebene Heberschreiber (siphon-recorder), bei dem die ankommenden Ströme durch ein kleines Rähmchen fließen, das leicht beweglich zwischen den Polen eines Dauermagneten aufgehängt

ist. Die Ablenkungen des Rähmchens übertragen sich auf einen äußerst leichten Glasheber, dessen kurzer Arm in eine Anilinlösung taucht. Der längere Arm schwebt dicht über dem sich fortbewegenden Papierstreifen und bringt, durch einen Vibrator in zitternde Bewegung versetzt, mit der als feiner Regen ausfließenden Anilinlösung die sogenannte Recorderschrift hervor. Diese Schrift besteht aus Wellenlinien, bei denen eine Bewegung nach der oberen Seite des Papierstreifens einen Punkt und nach der unteren Seite einen Strich des Morsealphabets bedeutet. Der Heberschreiber, der besonders auf den Kabeln der Eastern Telegraph Co. als deren Patent verwandt wird, spricht schon auf 0,02 bis 0,05 Milliampere an. Im Einfachbetriebe leistet der Heberschreiber $\frac{118}{KR}$ Wörter zu fünf Buchstaben in der Minute, also bei KR = 10 etwa 12 Wörter. Ein ähnlicher Heberschreiber ist von Sullivan angegeben. Große Empfindlichkeit erzielen Crehore und Squier durch eine besondere Bauart, bei der das Drahträhmchen bei seinen mit bloßem Auge kaum wahrnehmbaren Bewegungen zwei Glasplättchen aufeinanderdrückt. Die dabei entstehenden Interferenzstreifen werden zur Zeichengebung benutzt. Für Seekabel mittlerer Länge (700 bis 1400 km) wird in Verbindung mit dem Wheatstonesender der Undulator des Dänen Lauritzen (Zickzackschreiber) verwandt, ein polarisierter Farbschreiber mit zwei Elektromagneten, deren Polschuhe gegeneinandergekehrt und halbkreisförmig ausgeschnitten sind. In dem Ausschnitte schwingt ein aus zwei mit den ungleichnamigen Polen nebeneinander liegenden Stabmagneten gebildeter stark magnetischer Stahlanker. Die Bewegungen des Ankers werden auf ein Glasheberröhrchen übertragen, das mit Anilintinte auf einem durch den Apparat laufenden Papierstreifen eine Wellenlinie schreibt, deren kürzere oder längere Ausschläge die Punkte oder Striche des Morsealphabets darstellen. Der Undulator, der namentlich von der großen Nordischen Telegraphengesellschaft verwandt wird, arbeitet noch gut bei 0,07 Milliampere. Seine Leistung beträgt etwa 500 Wörter in der Stunde. Neuerdings werden mit gutem Erfolge sehr lange Kabel mit dem Kapillartelegraphen von Armstrong und Orling betrieben, der aus einer mit Quecksilber gefüllten Röhre besteht, deren haarförmig ausgezogenes Ende in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure als Elektrolyt eintaucht. Die in der Mitte des Haarröhrchens liegende Berührungsfläche zwischen Quecksilber und Schwefelsäure verschiebt sich, je nach der Größe der Polarisation, welche die ankommenden Ströme verursachen. Die Bewegungen werden photographisch festgehalten oder auf ein Heberröhrchen übertragen. Der Kapillartelegraph, der außerordentlich empfindlich ist, soll die Leistung des Siphon-Recorders um das Doppelte übertreffen. Auf dem Kabel Emden—Vigo ist in der letzten Zeit ein Versuchsbetrieb mit einem von dem Engländer Heurtly angegebenen sogenannten Magnifier eingerichtet, durch den die Arbeitsgeschwindigkeit in Gegensprechschaltung von 135 auf 190 Buchstaben in der Minute gesteigert werden konnte. Der Magnifier ist ein Heberschreiber, bei dem an Stelle des Glashebers ein sehr dünner Bronzedraht mit der Drehspule verbunden ist. Die Bewegungen des Bronzedrahts werden auf zwei Platinsilberdrähte übertragen, die zwei Zweige einer Wheatstoneschen Brücke bilden und durch einen Ortstrom stark erhitzt werden. Die Hitzdrähte schwingen über einem Gebläse von kühler Luft. Die dabei durch eine unterschiedliche Abkühlung hervorgerufenen Gleichgewichtstörungen der Brücke verursachen einen Strom, der einen in der Brückendiagonale liegenden Heberschreiber betätigt. Die wiedergegebenen Zeichen sind infolge ihrer Vergrößerung auch bei recht schnellem Telegraphieren außerordentlich gut lesbar.

Die großen Unterseekabel sind fast ausschließlich im Besitze von Aktiengesellschaften, von denen sich einzelne zu Interessengemeinschaften (Pools) zur Teilung der Einnahmen, zur Festsetzung einheitlicher Tarife und zur gegenseitigen Unterstützung bei Überlastungen und Störungen zusammengetan haben. Das gesamte Kabelnetz der Erde umfaßt zurzeit 2542 Kabel mit einer Länge von 511417 km, davon sind 405 Kabel mit einer Länge von 419900 km (also 82,1 v. H.) im Privatbesitz. Infolge seiner bevorzugten Lage übt England kabelpolitisch die Weltherrschaft aus. Sein weltumstrickendes Kabelnetz, durch das es alle seine Kolonien mit dem Mutterlande verbunden hat, erstreckt sich auf eine Länge von zusammen 257968 km, von denen sich 252965 km im Besitze von 18 Kabelgesellschaften befinden. An der Spitze dieser Gesellschaften steht die Eastern Tel. Co. mit einer Gesamtkabellänge von 79678 km und einem Aktienkapitale von 158 Millionen Mark. Sie ist die Führerin des Eastern-Pools, dem etwa zehn Gesellschaften angehören und der etwa die Hälfte des ganzen Privatkabelbesitzes beherrscht. Andere große englische Gesellschaften sind die Eastern Extension Australasia and China Tel. Co., die Western Tel. Co., die Eastern and South African Tel. Co. und die Anglo American Tel. Co. Die Vereinigten Staaten weisen einen Staatsbesitz an Kabeln von 3981 km Länge auf, während sich 62888 km im Privatbesitze befinden. Von den sechs amerikanischen Kabelgesellschaften ist die einflußreichste die Commercial Cable Co. mit 30756 km Kabellänge. Es folgen dann die Commercial Pacific Cable Co., die Central and South American Tel. Co. und die Western Union Tel. Co. Frankreich steht an dritter Stelle mit 21043 km im Staatsbesitz und 21203 km im Besitze der Compagnie française des câbles télégraphiques. Das Deutsche Reich besitzt 97 Kabel mit einer Länge von 5532 km. Außerdem haben wir vier Kabelgesellschaften, die zusammen über 35122 km Kabel verfügen. Die größte unter ihnen ist die Deutsch-Atlantische Telegraphengesellschaft, die 1900 durch Legung eines einadrigen Kabels von Borkum über Horta (Azoren) nach New York (7714 km) die erste von England unabhängige deutsche Kabelverbindung nach Amerika schuf. Der sich schnell entwickelnde Verkehr erforderte bald ein zweites Kabel, das 1904 durch die Norddeutschen Seekabelwerke (Nordenham) hergestellt und verlegt wurde (7935 km) (Abbildung 10 und 11). Die Zahl der in beiden Richtungen über die beiden Kabel beförderten Telegramme betrug 1910 710376 Stück mit 6325632 Wörtern. Die Deutsch-Atlantische Telegraphengesellschaft, die außerdem noch das einadrige Kabel Borkum—Vigo besitzt, verfügt über eine Kabellänge von insgesamt 17728 km. Der Deutsch-Südamerikanischen Telegraphengesellschaft gehört die 1909/11 von den Norddeutschen Seekabelwerken hergestellte und verlegte 10715 km lange einadrige Kabellinie Borkum—Teneriffa—Monrovia—Pernambuco, die in Kürze von Monrovia aus eine Abzweigung über Lome (Togo) nach Duala (Kamerun) erhalten soll. Die Deutsch-Niederländische Telegraphengesellschaft besitzt die ebenfalls von den vorgenannten Werken hergestellten und 1905 durch den deutschen Kabeldampfer „Stephan" verlegten einadrigen Kabel Menado(Celebes)—Jap(Karolinen)—Guam und Jap—Schanghai (6336 km). Die Osteuropäische Telegraphengesellschaft endlich betreibt seit 1905 das 343 km lange Kabel Constantza—Konstantinopel, das eine unmittelbare Verbindung von Berlin über Breslau und Bukarest mit der Türkei herstellt. Die meisten Kabelverbindungen besitzt die nordatlantische Linie mit 16 Kabeln, die sich auf den Anglo-Pool (Anglo-American Tel. Co., Western Union Tel. Co. und Direct United States Cable Co.) mit sieben Kabeln, auf die Commercial Cable Co. in New York (fünf Kabel), auf die Deutsch-Atlantische Telegraphengesellschaft in Cöln (zwei Kabel) und auf die Compagnie

française des câbles télégraphiques in Paris (zwei Kabel) verteilen. Die längsten zusammenhängenden Unterseekabel sind die beiden Pazifickabel, ein englisches und ein amerikanisches, die beide je etwa 14550 km lang sind.

Die über die Landesgrenzen hinausgehenden Telegraphenlinien und Kabelverbindungen führten schon frühzeitig zu einer allgemeinen Vereinbarung über die Art der zu verwendenden Leitungen und Apparate, des Betriebs und der Tarife durch einen internationalen Telegraphenvertrag, der in der heutigen Fassung 1875 zu St. Petersburg abgeschlossen wurde. Dem damit gegründeten Welttelegraphenvereine sind bis jetzt 47 Staaten beigetreten. Ferner gehören ihm 20 Telegraphengesellschaften an. Den internationalen Telegraphenvertrag noch nicht unterzeichnet haben die Militär-Telegraphenverwaltung der Vereinigten Staaten von Amerika und die Telegraphenverwaltungen der Vereinigten Staaten von Mexiko, der Verbündeten Malayischen Staaten und von China.

3. DIE TELEGRAPHIE OHNE LEITUNG (DRAHTLOSE TELEGRAPHIE)

Unter drahtloser Telegraphie versteht man die Übermittelung von Nachrichten mit Hilfe der 1888 von Heinrich Hertz entdeckten elektromagnetischen Wellen, die sich ohne Drahtleitung frei im Raume fortpflanzen. Die Nachrichtenübertragung erfolgt in der Weise, daß die auf einer Sendestation am Abgangsort erzeugten schnellen Schwingungen elektrischer Energie in Form von kurzen und langen Wellenzügen, den Morsezeichen entsprechend, in den Luftraum entsandt werden, diesen durchdringen und in einer Empfangstation am Bestimmungsort als Zeichen aufgefangen und übersetzt werden. Die elektromagnetischen Wellen verdanken ebenso wie die Licht- und Wärmewellen ihre Entstehung der Bewegung von elektrischen Ladungen. Während jedoch die Lichtwellen eine Länge von noch nicht einem tausendstel Millimeter haben, weisen die elektrischen Wellen Längen von 6 mm bis zu 100 km auf. Bei der drahtlosen Telegraphie werden indessen nur die Wellen mit einer Länge von 100 m bis zu 6 km verwandt. Die transversalen elektrischen Schwingungen breiten sich mit der Lichtgeschwindigkeit, d. h. 300000 km weit in der Sekunde, aus. Da diese Geschwindigkeit gleich der Wellenlänge mal der Zahl der Schwingungen in der Sekunde ist, so ergeben sich für die kleinste bei der drahtlosen Telegraphie benutzte 100 m-Welle 3 Millionen und für die größte 6 km-Welle 50000 Schwingungen in der Sekunde (Hochfrequenz). Der Schöpfer der drahtlosen Telegraphie ist unbestritten der italienische Ingenieur Marconi, der mit praktischem Sinne die Ergebnisse der vielen vor ihm angestellten Versuche zu einem Systeme zusammenfaßte. Mit seiner ersten Sendeanordnung, bei der er die Funkenstrecke in den Sendedraht selbst legte, erzielte er jedoch wegen der geringen Aufnahmefähigkeit dieser offenen Strombahn nur stark gedämpfte Wellen von geringer Stärke und kleiner Reichweite. Erst seine späteren Arbeiten und namentlich die des Professors Braun (Straßburg i. E.), bei denen die Schwingungen zunächst in einem geschlossenen Schwingungskreise (bestehend aus einem Kondensator (Kapazität) und einer Selbstinduktionspule) erzeugt und von diesem durch eine Koppelung auf den Luftdraht übertragen wurden, ermöglichten es, die zur Überwindung großer Entfernungen erforderlichen hohen Stromstärken anzuwenden und der drahtlosen Telegraphie die heutige weittragende Bedeutung für den Weltverkehr zu sichern. Zur Durchbildung der abgestimmten Telegraphie waren dann in Deutschland besonders Professor Slaby und Graf Arco mit Erfolg tätig, während Schlömilch sich große Verdienste um die Verbesserung des Empfängers erworben hat.

Die heutige große Ausdehnung der drahtlosen Stationen über den ganzen Erdball ist das Verdienst einzelner großer Gesellschaften, von denen als die größten die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie in Berlin (System Telefunken), die United Marconi Wireless Telegraph Co. in London (System Marconi), die National Electric Signaling Co. in Washington (System Fessenden), die American De Forest Wireless Telegraph Co. in New York mit einer Zweigniederlassung in England (System De Forest) und das Lodge-Muirhead-Wireless and General Telegraphy-Syndikat (System Lodge-Muirhead) zu nennen sind. Daneben bestehen in einzelnen Ländern noch besondere nationale Gesellschaften mit zum Teile eigenen Systemen. Die Systeme Telefunken und Marconi nehmen im internationalen Wettbewerbe die führende Stellung ein. Das deutsche Telefunkensystem hat dabei seit den letzten Jahren den Vorsprung, da zurzeit über die Hälfte der auf der Erde vorhandenen drahtlosen Stationen deutscher Herkunft ist. Während die Marconigesellschaft von Anfang an eine Betriebsgesellschaft war, die auch auf den deutschen Handelschiffen Eingang fand, wurde 1911 auch eine deutsche Betriebsgesellschaft für drahtlose Telegraphie gegründet, welche die auf den deutschen Schiffen vorhandenen Telefunken- und Marconistationen zu einem einheitlichen Betriebe zusammenfaßte und somit das erste Bindeglied zwischen Telefunken und Marconi darstellt.

Zur Milderung des scharfen Wettbewerbs zwischen den vielen Systemen, der für die Sicherheit des Schiffsverkehrs bedrohlich erschien, wurde auf Anregung von Deutschland 1906 der internationale Funkentelegraphenvertrag abgeschlossen. Dieser Vertrag zwingt sämtliche Küsten- und Bordstationen der vertragschließenden Länder, drahtlose Telegramme ohne Rücksicht auf das verwandte System miteinander auszuwechseln. Durch ein Zusatzabkommen wurde diese Verpflichtung auch den Schiffstationen für den Verkehr untereinander auferlegt. Das Zusatzabkommen ist nunmehr auf der am 5. Juli 1912 in London geschlossenen internationalen Konferenz für Funkentelegraphie von allen beteiligten Staaten als bindend anerkannt worden.

Die Sendestation besteht in ihren Hauptteilen aus der Maschine oder den Apparaten zur Erzeugung der Hochfrequenzenergie und dem die Schnellschwingungen ausstrahlenden Sendedrahte, der Antenne. Man gewinnt die Hochfrequenzschwingungen auf dreifache Weise: durch die Funkenmethode, die Lichtbogenmethode und die Hochfrequenzmaschinen. Die meisten Sendestationen der Welt (etwa 95 v. H.) verwenden dabei den bereits erwähnten geschlossenen Schwingungskreis (Erregerkreis), d. h. eine Strombahn mit einer bestimmten Kapazität und Selbstinduktion, von deren Werten die Schwingungszahl abhängt. Die Telegraphierzeichen werden durch eine Morsetaste gegeben, mit deren Hilfe die Antenne den Morsezeichen entsprechend aus dem Erregerkreis über die Koppelung lange oder kurze Zeit geladen wird.

Bei der Funkenmethode wird die Ursprungsenergie (Wechselstrom oder unterbrochener Gleichstrom) durch technische Transformatoren oder Resonanzinduktoren (Funkeninduktoren) auf eine sehr hohe Spannung gebracht (bis 150000 Volt und mehr), die der Kondensator großer Kapazität im Erregerkreis als Ladeenergie aufspeichert. Sobald der Kondensator bis zu einer bestimmten Überspannung aufgeladen ist, setzt zwischen den Elektroden der im Erregerkreise liegenden Funkenstrecke ein Funken ein. In seiner aus heißen Gasen und unendlich kleinen, glühenden Metallteilchen bestehenden Bahn strömt während des nur geringe Bruchteile einer Sekunde dauernden Funkenübergangs in millionenfachem Wechsel positive und negative Elektrizität hin und her, die sich in Form von Schwingungen dem ganzen Erregerkreise mitteilt. Die gewünschte Wellenlänge kann dabei entweder durch Veränderung der im Erreger- und

Antennenkreise liegenden Kondensatoren, der Selbstinduktionspulen oder beider zusammen eingestellt werden. Gewöhnlich verwendet man dazu Induktionspulen, sogenannte Variometer. Die Morsetaste wird bei der Funkenmethode in den Primärkreis des Funkeninduktors eingeschaltet. Bei der älteren Funkenmethode, die auch heute noch vielfach angewandt wird, ist der Resonanzinduktor zur Vermeidung eines zu häufigen Funkenübergangs, der eine starke Abnutzung der Funkenstrecke und eine Energieverschwendung verursacht, meist so lose mit der primären Stromquelle gekoppelt, daß im Erregerkreis in der Sekunde nur 20 bis 30 langsame, aber energiereiche Funken überspringen. Die ältere Funkenstrecke hat jedoch bedeutende Nachteile. Da sie nach Beendigung einer Entladung ihre Leitfähigkeit noch einige Zeit beibehält, kann nämlich die vom Erregerkreis über die Koppelung an den Antennenkreis abgegebene Energie rückwirkend wieder Schwingungen in dem durch die leitend bleibende Funkenstrecke geschlossenen Erregerkreis erzeugen. Auf diese Weise pendelt die Energie zwischen Erregerkreis und Antennenkreis bis zum allmählichen Abklingen hin und her. Abgesehen davon, daß durch den beim Rückfluten der Schwingungen wieder einsetzenden Funken Energie nutzlos verbraucht wird, erleidet die Eigenschwingung beider Kreise hierdurch eine ungünstige Veränderung, so daß selbst bei guter Abstimmung statt einer immer zwei Wellen von verschiedener Schwingungszahl (Koppelungswellen) entstehen.

Professor Max Wien (Jena) wies 1906 nach, wie sich diese störenden Nebenwirkungen der älteren Funkenstrecken beseitigen lassen. Das neue Verfahren, die Stoßerregung, verwendet Funkenstrecken aus scheibenförmigen Elektroden, die einen gegenseitigen Abstand von nur Bruchteilen eines Millimeters haben. Die zwischen den Elektrodenflächen einsetzende Entladung wird durch das entstehende elektromagnetische Feld nach dem Rande getrieben und erlischt auf dem Wege dorthin. Der Funken wechselt daher ständig seine Stelle. Dabei wächst der Widerstand der Funkenstrecke so schnell an, daß nach dem Erlöschen der Entladung der Erregerkreis (Stoßkreis) in der Funkenstrecke unterbrochen ist und die auf den Luftleiterkreis (Antennenkreis) übertragenen Schwingungen nicht wieder zurücktreten können. Auf diese Weise konnte der ursprünglich geringe Wirkungsgrad der Funkenmethode von etwa 10 v. H. auf etwa 50 v. H. erhöht werden. Das Verfahren der Stoßerregung wenden fast sämtliche neuzeitlichen Systeme an.

Auf der Grundlage dieses Verfahrens ist 1908 ein neues Telefunkensystem geschaffen, das Schwingungen mit geringer Dämpfung, hoher Energie und hinreichend beständiger Höchstschwingungsweite liefert. Als Funkenstrecke dienen zwei ebene Ringflächen mit sehr kleinem Abstand (etwa 0,2 mm). Für größere Leistungen und höhere Spannungen werden Reihenfunkenstrecken (Abbildung 12) gebildet, bei denen die Gesamtenergie auf so viele Funkenstrecken gleichmäßig verteilt ist, daß jede einzelne nur in zulässiger Weise beansprucht wird. Die Funkenstrecken können durch Kurzschließen nach Bedarf ausgeschaltet werden. Die Elektroden sind großflächig, aus gut wärmeleitendem Metalle (Kupfer oder Silber) hergestellt und werden u. U. besonders gekühlt. Die schnelle Löschung des Funkens hat den weiteren großen Vorteil, daß die sekundlichen Funken bedeutend vermehrt werden konnten. Damit war eine wesentliche Steigerung der Reichweite verbunden, denn die höhere Funkenfolge kommt an der Empfangstelle in Verbindung mit den neuzeitlichen Detektoren als erhöhte Energie zur Geltung. Da bei jeder halben Schwingung des Primärstroms eine Funkenentladung entsteht, so gehen bei den im Telefunkensystem üblichen 500 Schwingungen in der Sekunde in der gleichen Zeit 1000 Funken über. Diese hohe Funkenzahl er-

regt die Membran des Fernhörers am Empfangsorte zu einem reinen harmonischen Tone. Die schnell aufeinander folgenden Funken werden daher „tönende Funken" genannt.

Das System v. Lepel verwendet zur Stoßerregung ebenfalls sehr kurze Funkenstrecken zwischen zwei ebenen Scheiben, die entweder beide aus Metall bestehen oder von denen die eine aus Kohle und die andere aus Metall gebildet wird. Die Metallscheiben sind durch Wasser oder durch Kühlansätze gekühlt. Die Funkenstrecken werden mit hochgespanntem Gleich- oder Wechselstrome gespeist und haben Löschwirkung. Wird eine solche Funkenstrecke an einen Duddellkreis (vgl. S. 334) angeschaltet, so erzeugen die entstehenden Wellen im Empfänger einen musikalischen Ton.

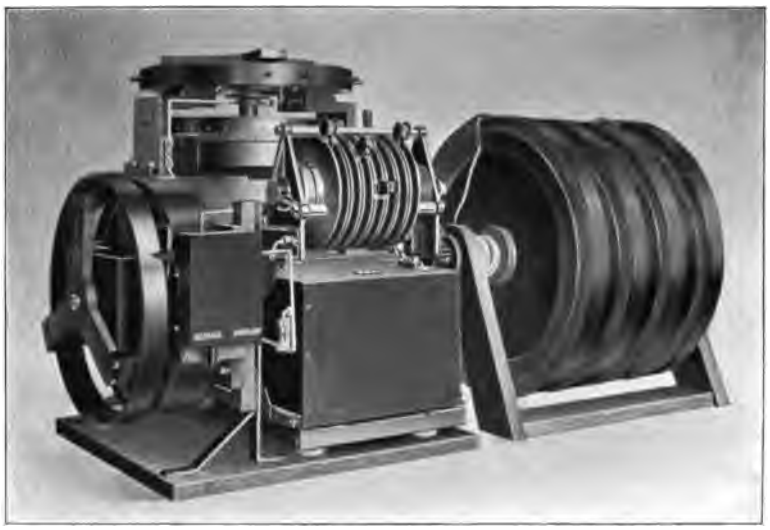


Abbildung 12. Sendestation (1 KW) für drahtlose Telegraphie (System Telefunken).
Im Holzkasten die Erregerkapazität aus Papierkondensatoren, darüber die Löschfunkenstrecke (Reihenfunkenstrecke), links das Variometer des Erregerkreises. Oben das Variometer des Luftleiters mit Handrad und Verlängerungsspulen (rechts).

Das von dem Diplomingenieur Rein durchgebildete und von der A.-G. C. Lorenz (Berlin) verwandte System beruht, ähnlich wie das vorgenannte, auf einer Verbindung der Stoßerregung mit einem Duddellkreis. Eine besonders eng gestellte, aus zwei ineinander liegenden Kugelschalen gebildete Funkenstrecke wird durch hochgespannten Gleichstrom gespeist. Parallel zur Funkenstrecke sind ein Duddellkreis mit langsam schwingendem und ein Stoßkreis mit schnell schwingendem Wechselstrome geschaltet. Die Energie des Duddellkreises bildet dabei mit dem Gleichstrom einen Wellenstrom, der den Leitungswiderstand der Funkenstrecke in bestimmter Folge überbrückt. Jedesmal, wenn der Widerstand den Höchstwert erreicht, tritt eine Löschwirkung ein. Der Duddellkreis bestimmt also die Zeitfolge der Entladungen und sein Ton ist im Fernhörer des Empfängers wahrnehmbar.

Eine mit hochgespanntem Gleichstrome gespeiste Funkenstrecke von Marconi besteht aus zwei festen Elektroden, zwischen denen sich ein mit Zähnen versehenes breites Rad schnell dreht. Die Funken springen zwischen den einzelnen Zähnen und den Elektroden über. Durch die Drehung des Zahnrads wird eine Kühlwirkung erreicht, da stets neue Randteile der Räder an der Funkenbildung teilnehmen. Die Funkenfolge wird durch entsprechende Regelung der Zahnradumdrehungen so gewählt, daß im Fernhörer der Empfangstelle ein musikalischer Ton entsteht. Ein ähnliches Elektrodenrad verwendet auch Fessenden.

Die vorbeschriebene Funkenmethode liefert, wie bereits erwähnt, nur einzelne durch den Funken ausgelöste Wellenzüge, die infolge der Dämpfung schnell abklingen. Anders bei der Lichtbogenmethode. Bei ihr werden die Schwingungsverluste sofort wieder ersetzt, so daß sie ununterbrochene und ungedämpfte Wellen ergibt. Die

Lichtbogenmethode baut sich auf die Untersuchungen des englischen Physikers Duddell auf, der 1899 in einem geeigneten, schwach gedämpften Schwingungskreise, welcher an einen durch Gleichstrom gespeisten Lichtbogen angeschaltet war, ununterbrochene, ungedämpfte Wellen mit 10000 bis 40000 Schwingungen in der Sekunde erzielte. Der Lichtbogen sandte dabei einen der Schwingungszahl entsprechenden Ton aus (tönender Lichtbogen). Nachdem Professor Simon (Göttingen) diese Erscheinungen wissenschaftlich weiter untersucht und geklärt hatte, gelang es 1906 dem dänischen Ingenieur Valdemar Poulsen, die Zahl der Schwingungen durch künstliche Erhöhung der Stromschwankungen bis auf eine Million und mehr zu steigern, so daß sie für die drahtlose Telegraphie nutzbar gemacht werden konnten. Das von Poulsen begründete System ist in Deutschland von der A.-G. C. Lorenz (Berlin) sehr gut durchgebildet worden (Abbildung 13). Der Lichtbogen brennt in einer, eine wasserstoffhaltige Atmosphäre enthaltenden Kammer zwischen einer festen, gekühlten Kupferelektrode und einer verstellbaren, durch einen Elektromotor in langsame Umdrehungen versetzten Kohlenelektrode. Zur Steigerung der Energie wird der Lichtbogen in einem durch die Pole eines kräftigen Elektromagneten gebildeten magnetischen Felde erzeugt. Die Telegraphierzeichen werden in der Regel durch Ab- und Anschalten der Antenne gegeben. Die Vorteile des Poulsensystems liegen besonders in der Möglichkeit einer sehr scharfen Abstimmung und daher eines größeren Störungsschutzes.

Die mit der Funkenstrecke oder später mit dem Lichtbogen gewonnene Energie ist jedoch begrenzt und bei höheren Leistungen außerdem nicht immer stetig. Die Bestrebungen waren daher schon frühzeitig darauf gerichtet, ungedämpfte Schnellschwingungen unmittelbar durch Hochfrequenzmaschinen zu erzeugen, die ohne weiteres an die Antenne angeschlossen werden können. Die Schwierigkeiten, auf deren Überwindung es ankam, lagen darin, Wellen mit den erforderlichen sehr hohen Schwingungszahlen zu erhalten. Bereits vor etwa zwanzig Jahren bauten Elihu Thomson und Nicola Tesla Wechselstrommaschinen mit einer Wechselzahl von 10000 bis 15000. Wesentlich höhere Schwingungszahlen erreichten die Hochfrequenzmaschinen von Duddell, Brown und Fessenden, jedoch war die Maschinenleistung nur gering (etwa 2,5 KW). Die erste brauchbare Hochfrequenzmaschine wurde 1907 von Dr. Goldschmidt (Darmstadt) angegeben und von der A.-G. C. Lorenz (Berlin) durchgebildet. Eine Versuchsmaschine auf der Station in Eberswalde liefert bei 50000 Schwingungen etwa 10 KW mit einem Wirkungsgrade von 80 v. H. Zur praktischen Verwertung dieser maschinellen Erzeugung von Schwingungen ist die Hochfrequenz-Maschinen A.-G. für drahtlose Telegraphie (Berlin) gegründet. Neuerdings ist auf dem Londoner Kongresse für Funkentelegraphie auch durch die Gesellschaft Telefunken eine vom Grafen Arco entworfene und von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft gebaute Hochfrequenzmaschine vorgeführt worden, die bei den Versuchen einen Hochfrequenzstrom von 25 Ampere und 120000 Schwingungen in der Sekunde lieferte.

Die Antennen ragen entweder als hohe Leitergebilde in den Luftraum hinein (Luftantennen) oder werden als lange Drähte über dem Erdboden ausgespannt (Erdantennen). Die Luftantennen bestehen zur Aufnahme großer Energiemengen in der Regel aus einem weitverzweigten Netze von Phosphorbronzedrähten, das von eisernen oder, zur Vermeidung von Verlusten, hölzernen Masten und Türmen hochgehalten wird. Die Länge des Luftdrahts bestimmt im wesentlichen die Länge der ausgestrahlten oder aufzunehmenden Wellen, denn diese ist gleich der vierfachen Länge des Luftdrahts. Zwar kann diese Länge durch Anschalten von Selbstinduktionsspulen (Verlängerungsspulen) vergrößert oder durch Einfügen eines Erdkondensators verkürzt

werden, doch muß der freie Luftleiter stets ein wesentlicher Bestandteil des Antennenkreises bleiben. Mit der Höhe der Antenne nimmt bis zu einem gewissen Grade auch die Reichweite zu. Wegen ihrer großen Kapazität und statisch günstigen Bauart wird die Schirmantenne bevorzugt, bei welcher die Antennendrähte vom Gipfel der Hochführung aus sternförmig nach allen Seiten verlaufen und am Erdboden oder an besonderen Masten isoliert abgefangen sind. Wie Dr. Kiebitz festgestellt hat, spielt die Form des Luftleiters gegenüber der Höhe der Türme und Masten eine nur nebensächliche Rolle. Die Antenne muß gut geerdet oder mit einem isolierten Drahtgebilde, der Gegenantenne, verbunden sein. Die andere Antennenart, die Erdantenne, ist eine Errungenschaft der neuesten Zeit. Zwar reichen die von Professor Strecker und Professor Braun ausgeführten Versuche, Wechselströme der Erde oder dem Wasser zuzuführen und sie an anderer Stelle wieder zu entnehmen, bis 1896 und 1898 zurück. Jedoch erst die in jüngster Zeit von Dr. Kiebitz angestellten Untersuchungen haben gezeigt, welche weittragende Bedeutung der neuen Antennenart zukommt. Das Ergebnis der Untersuchungen gipfelt darin, daß jedes Luftleitergebilde durch eine geradlinige, wagerecht ausgespannte Antenne ersetzt werden kann, die sich in kurzer Zeit mit verhältnismäßig wenig Kosten und mit den gewöhnlichen Mitteln des Leitungsbaues herstellen läßt. Hierbei ist es ohne Einfluß, ob sie an den Enden geerdet oder isoliert ist. Sie muß nur möglichst lang sein (etwa zehn- bis zwanzigmal länger als die Luftantennen hoch sind) und an den äußeren Enden die Höchstspannung sowie in der Mitte möglichst den Höchststrom aufweisen. Die wagerechte Antenne bietet den Vorzug, daß die Hauptstrahlung in ihrer Längsrichtung erfolgt, daß sie also Richtfähigkeit besitzt; ferner daß sie verhältnismäßig unempfindlich gegen atmosphärische Störungen und zum Aussenden langer Wellen besonders ge-

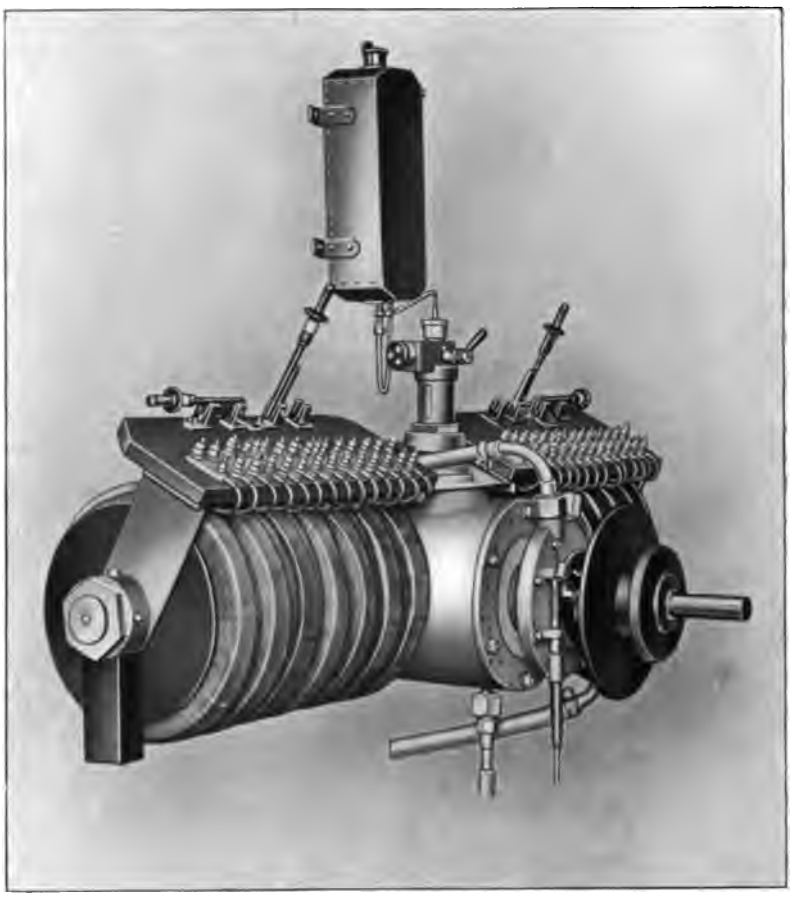


Abbildung 13. Poulsen-Generator für drahtlose Telegraphie und Telephonie (A.-G. C. Lorenz, Berlin).
Links und rechts die großen Magnetspulen, in der Mitte die Flammenkammer mit Zuleitungen für Spiritus (oberer Behälter) und Kühlwasser. Auf der Vorderwand der Flammenkammer die durch ein Schneckengetriebe gedrehte Kohlenelektrode.

eignet ist. Mit 250 bis 500 m langen Erdantennen sind bis jetzt Reichweiten von mehreren hundert Kilometer erzielt worden.

Die Empfangstation besteht aus der die ankommenden Wellen auffangenden Antenne und dem eigentlichen Empfangskreis. Als Empfangsantennen werden dieselben Leitergebilde benutzt wie beim Senden. Dient eine Station zugleich als Sende- und Empfangstelle, so wird die Antenne durch einen Umschalter beim Senden an den Sendekreis und beim Empfangen an den Empfangskreis angeschaltet. Die Empfangsantenne muß, um die größtmögliche Empfangswirkung zu gewährleisten, genau auf die ankommenden Wellen abgestimmt sein, d. h. ihre Eigenschwingung muß durch Änderung ihrer elektrischen Werte mit der Schwingung der aufzunehmenden Energie in Einklang gebracht werden. Durch eine Koppelung werden dann die in Form von Morsezeichen ankommenden langen und kurzen Wellenzüge auf den Empfangskreis übertragen und hier in den Wellendetektoren oder Wellenanzeigern so umgesetzt, daß sie durch Schreibapparate oder Fernhörer sichtbar oder hörbar gemacht werden können (Abbildung 14). Da die neueren Detektoren die ankommenden Schwingungen aufzehren und in Gleichstrom verwandeln sollen, wird als Empfangskreis nach dem Vorschlage von Dr. Kiebitz ein die Schwingungen nicht begünstigender sogenannter aperiodischer Detektorkreis verwandt, dem die Antenne ihre Eigenschwingung aufdrückt. Eine besondere Abstimmung dieses Empfangskreises ist demnach entbehrlich. Bei großen Antennen schaltet man, um beim Empfange langer Wellen die Störungen durch kurze und bei kurzen die Störungen durch lange Wellen auszuschließen, zwischen Antenne und Detektorkreis einen abgestimmten Zwischenkreis. Bei kleinen Antennen genügt eine lose Koppelung zwischen Antennen- und Detektorkreis, da diese Antennen leicht auf alle Wellen scharf abgestimmt werden können. Die auf eine bestimmte Wellenlänge abgestimmte Antenne wird im allgemeinen nur von den für sie bestimmten Wellen wirksam erregt. Alle anderen gleichzeitig ankommenden Wellen drücken ihr zwar auch Schwingungen auf; diese sind jedoch in der Regel so schwach, daß sie den Detektor nicht ansprechen lassen. Auf solche Weise ist es möglich, daß zwei Stationen im Bereiche vieler anderer jederzeit miteinander störungsfrei verkehren können.

Als Wellenanzeiger kommen hauptsächlich in Betracht: der Fritter, der Magnetdetektor und die integrierenden Detektoren. Der älteste Wellenanzeiger, der durch den französischen Professor Branly 1890 entdeckte und von dem Engländer Lodge eingeführte Fritter (Kohärer), wird auch heute noch vielfach verwandt. Er besteht aus zwei oder mehr Elektroden, die in eine luftleere Glasröhre eingeschlossen sind und zwischen denen sich Metallspäne befinden. Mit dem Fritter ist eine Gleichstromquelle und ein Relais in Reihe geschaltet. In der Ruhe bietet der Fritter einem elektrischen Strome einen unüberwindlichen Widerstand. Unter der Einwirkung von elektrischen Schwingungen sinkt jedoch der Widerstand so beträchtlich, daß der nun zustande kommende Strom das Relais und dieses einen Morseapparat betätigen kann. Durch mechanische Erschütterung mit einem von Lodge 1893 erfundenen elektromagnetischen Hammer wird die Wirkung der Wellen nach jedem Ansprechen wieder aufgehoben. Der Fritter hat den Nachteil, daß er nur auf einen bestimmten Augenblickswert der Spannung anspricht und daher die aufgefangene Energie nur so lange ausnutzt, bis dieser Wert erreicht ist. Außerdem hat er sich nicht immer als zuverlässig erwiesen und gestattet keine sichere Verwendung auf große Reichweiten. Von großer praktischer Bedeutung ist der von Marconi erfundene Magnetdetektor geworden, der aus zwei Dauermagneten besteht, die in einer Ebene mit den gleichnamigen Polen

Das Haupttelegraphenamt zu Berlin.

Zu Kuhlmann:
Post, Telegraphie und Fernsprechwesen.

nebeneinander liegen. Vor den Polen bewegt sich ein hart gezogener Eisendraht vorbei, der von den Magneten dauernd veränderlich magnetisiert wird. Der Draht läuft ferner durch zwei zwischen den Magneten angebrachte übereinander gewickelte Spulen, von denen die eine mit Antenne und Erde und die andere mit dem zur Aufnahme der ankommenden Zeichen dienenden Fernhörerkreise verbunden ist. Treten in der Antennenspule elektrische Wellen auf, so wird der im Drahte bei seiner fortwährenden Ummagnetisierung entstehende remanente Magnetismus aufgehoben. Die dadurch hervorgerufene Änderung des magnetischen Feldes wirkt induzierend auf die Fernhörerspule und im Fernhörer entsteht ein Ton. Der Magnetdetektor, der auf einen bestimmten Augenblickswert des Stromes anspricht, ist zwar nicht der empfindlichste Detektor, zeichnet sich aber durch seine große Einfachheit, Zuverlässigkeit und Unzerstörbarkeit aus. Die sogenannten integrierenden oder unilateralen Detektoren sind äußerst empfindlich, da sie auf die gesamte ankommende Energiemenge ansprechen. Zu ihnen gehören der elektrolytische Wellenanzeiger, die Kontaktdetektoren, der Ventilröhrendetektor und der Tikker. Der von Schlömilch auf eine große Empfindlichkeit gebrachte elektrolytische Wellenanzeiger besteht aus einer Polarisationszelle mit Platin- oder Goldelektroden in verdünnter Schwefelsäure. Die positive Elektrode wird zur Steigerung der Wirkung durch einen in Glas eingeschmolzenen Wollastondraht gebildet, dessen Platinspitze etwa 0,1 bis 0,001 mm dick und 0,01 bis 0,005 mm lang ist. An die Zelle wird eine Hilfsspannung gelegt, welche der Polarisationsspannung so das Gleichgewicht hält, daß nur ein äußerst schwacher Strom zustande kommt. Auftreffende Wellen schwächen die Polarisation und verstärken den Strom; im Fernhörer entsteht dabei ein Ton. Die Schlömilchzelle, die auch ohne Hilfsstrom arbeitet, ist außerordentlich zuverlässig und stets gebrauchsfertig. Das Telefunkensystem benutzt neuerdings eine Zelle mit drei positiven, sternförmig angeordneten Platinelektroden, von denen jede durch eine Drehbewegung der Zelle nach Belieben eingeschaltet werden kann. Die wichtigste Stellung unter den Wellenanzeigern nehmen die Kontaktdetektoren ein, deren besonderer Vorzug in ihrer großen Einfachheit liegt. Sie bestehen aus gewissen Mineralien, z. B. Bleiglanz, Zirkon, Eisen-, Kupfer-, Schwefelkies usw., die mit sanftem, aber beständigem Drucke gegen eine Spitze aus Metall, Graphit, Tellur usw. drücken. Die Kontaktdetektoren, die wegen der in ihnen auftretenden thermoelektrischen Kräfte auch Thermodetektoren genannt werden, wirken als Gleichrichter, da sie an der möglichst kleinen Berührungstelle die Hochfrequenzströme in Gleichstromstöße umformen. Der Ventilröhrendetektor ist von Fleming angegeben. Der Detektor

Abbildung 14. Hörempfänger für drahtlose Telegraphie (System Telefunken).
Oben Empfangstransformator mit auswechselbarer Kopplungspule, unten drehbarer Kondensator. Auf diesem links der Detektor und rechts der Stationsumschalter zum abwechselnden Senden und Empfangen.

besteht aus einem durch Gleichstrom zum Glühen erhitzten Tantalfaden, der in eine luftleere Platinröhre eingeschlossen ist. Die ankommenden Schnellschwingungen überbrücken den durch sie jonisierten Zwischenraum zwischen Röhre und Faden und werden dabei gleichgerichtet. Auf demselben Prinzipe beruht auch der von De Forest benutzte Wellenanzeiger Audion. Die von den Poulsenstationen ausgehenden ungedämpften Wellen sind wegen ihrer hohen Schwingungszahl von einer Million und mehr im Fernhörer nicht vernehmbar, da unser Ohr nur Schwingungen mit einer Schwingungszahl von weniger als 40000 in der Sekunde wahrnehmen kann. Die Schwingungen werden daher durch einen besonderen, von der A.-G. C. Lorenz (Berlin) gebauten elektromagnetischen Unterbrecher, den Tikker, der mehrere hundert Male in der Sekunde den Detektorkreis künstlich unterbricht und die angesammelte Schwingungsenergie dadurch plötzlich in einen mit dem Empfangsfernhörer parallel geschalteten Kondensator entlädt, hörbar gemacht. Im Fernhörer entsteht bei jedem Wellenzeichen ein der Zeitfolge der Unterbrechungen entsprechendes krächzendes oder tickendes Geräusch.

Die Aufnahme der Morsezeichen erfolgt heutzutage in der Regel mit einem Fernhörer, der an den Kondensator des Detektorkreises angeschaltet wird. Die einer häufigen und regelmäßigen Funkenfolge entsprechenden, vom Detektor ausgehenden Gleichstromstöße laden den Kondensator in schneller Folge auf und dieser entlädt sich wieder durch den Fernhörer. Die Fernhörermembran bringt dabei einen Ton hervor, der in seiner Höhe der Zahl der Ladungsstöße und somit der Funkenfolge entspricht. Bei hoher Funkenzahl ist der Ton hell, rein musikalisch und hebt sich ausgezeichnet von dem durch die atmosphärischen Störungen hervorgerufenen Knacken und Brodeln ab, so daß eine Verständigung selbst bei starken Nebengeräuschen möglich bleibt. Hierdurch wird der Wert der schnellen Funkenfolge besonders für die tropischen Länder mit ihrer häufigen Gewitterbildung erhöht. Da die Membran des Fernhörers gleichmäßigen Schwingungen gut folgen kann, ist zur Hervorbringung eines musikalischen Tones im Fernhörer ein viel kleinerer Energieaufwand am Sendeort erforderlich als bei der älteren Funkenmethode mit langsamen Funken. Um schwache Zeichen im Fernhörer zu verstärken, verwendet das Telefunkensystem einen Resonanz-Tonverstärker, der auf einen bestimmten Ton abgestimmt ist und dessen Empfindlichkeit sich durch einen Tonumformer, der eine Umformung der Tonhöhe vornimmt, und einen Tonfilter, der beliebige andere Töne auswählt, steigern läßt. Der Gebrauch des früher zusammen mit dem Fritter allgemein üblichen Morseschreibers ist durch die neuen Wellenanzeiger für Hörempfang sehr eingeschränkt worden. Damit indessen auch an diese ein Morseschreiber angeschlossen werden kann, hat der Resonanz-Tonverstärker eine besondere Einrichtung erhalten, welche die Anschaltung eines polarisierten Relais gestattet. Um die ankommenden Zeichen sichtbar zu machen, wird sonst vielfach in Verbindung mit den neuen Detektoren ein Deprezinstrument oder ein Fadengalvanometer verwandt. Das Deprezinstrument besteht aus einer in einem gleichbleibenden Magnetfelde schwingenden Spule, welche durch die ankommenden Ströme abgelenkt wird. Die Spule ist mit einem Zeiger oder einer Spiegeleinrichtung verbunden. Bei dem Fadengalvanometer von Edelmann schwingen zwei ein kleines Aluminiumblättchen tragende Metallsaiten zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten. Das Blättchen blendet in der Ruhelage einen Lichtstrahl ab, der, sobald ein Strom die Metallsaiten durchfließt, durch den Ausschlag der Saiten freigegeben und auf einem lichtempfindlichen Papierstreifen photographisch nach seiner Dauer (Punkt oder Strich) festgehalten wird. Auch die Bewegungen eines nur 0,004 mm dicken Goldfadens werden auf diese Weise abgebildet.

Bei jeder Ladung einer Antenne treten an ihr Kraftlinien auf, die sich, in Stärke und Richtung fortwährend veränderlich, zum Teile von der Antenne abschnüren und in Form von Wechselfeldern immer weiter in den Raum hinausgedrängt werden. Die Bewegung pflanzt sich in der Gestalt elektromagnetischer Wellen mit einheitlicher Geschwindigkeit im allgemeinen strahlenförmig nach allen Richtungen fort. Die elektrischen Schwingungen lehnen sich dabei an die Erdoberfläche an und dringen in sie um so tiefer ein, je schlechter deren Leitvermögen und je kürzer die Welle ist. Die Bedingungen für die Ausbreitung der Wellen und damit die Grundlagen zur Bestimmung ihrer Reichweite sind jedoch immer noch nicht hinreichend geklärt. Die Reichweite ist in erster Linie abhängig von der Sendeenergie, der Größe der zum Senden und Empfangen verwandten Antennen und der Wellenlänge. Die Antennen setzen hierbei eine gewisse Grenze, da sie nur bis zu einem bestimmten Grade elektrisch belastet werden können. Die Wirkung der elektrischen Wellen nimmt ebenso wie bei der Ausbreitung des Lichtes mit dem Quadrate der Entfernung ab. Tatsächlich ist die Abnahme aber viel größer und zwar spielen dabei die geographischen und geologischen Verhältnisse des Zwischengeländes eine große Rolle. Gebirge, Wälder und andere Hindernisse im Wellenbereiche nehmen einen nicht unbeträchtlichen Teil der Energie auf. Über freies Wasser können daher viel größere Reichweiten erzielt werden als über Land. Ferner sind in bestimmten Himmelsrichtungen und bei Nacht auffallend große Reichweiten beobachtet worden. Die letztere Erscheinung hat schon Taylor in Zusammenhang mit der Jonisation namentlich der oberen Luftschichten durch das Sonnenlicht gebracht. Wissenschaftlich erfaßt ist der Einfluß des Lichtes jedoch noch nicht. Wegen der schwankenden Beeinflussung, der die Wellen im Raume unterliegen, ist es bei großen Entfernungen, namentlich über ungünstiges Gelände, nicht immer möglich, einen dauernden Verkehr zwischen zwei drahtlosen Stationen aufrechtzuerhalten. Vermöge des hohen Grades der Vollkommenheit sowohl der Sender als auch der Empfänger werden heute durch die drahtlose Telegraphie Entfernungen von etwa 3000 bis 6000 km beherrscht.

Die Anzahl der Sender- und Empfängertypen ist überaus groß. Die Stationen sind entweder nach Mindestreichweiten oder nach der primär erforderlichen und in der Antenne schwingenden Energie abgestuft. So baut Telefunken z. B. normale Land-Großstationen, zu denen im allgemeinen Stationen mit 10 KW Antennenleistung und darüber zählen, mit einer Antennen-Schwingungsenergie von 10, 25 und 35 KW bei einem Kraftverbrauche von 30 bis 100 P.S. und einer gewährleisteten Reichweite über See von 2000 bis 6000 km. Die kleineren Schiffsstationen werden mit 1,5 KW-Sendern (Abbildung 12) ausgerüstet, die bei 30 m hohen Masten eine Reichweite von 600 bis 1200 km besitzen. Für die großen Kriegsschiffe und die Ozeanriesen sind Stationen für 2,5 und 5 KW Antennenenergie (primär 4,5 und 8 KW) bestimmt, die auf 1000 bis 2400 km Telegramme austauschen können. Hiermit ist vorläufig für diese Stationen die Grenze erreicht, da die heutigen Schiffsantennen nicht mehr als 5 bis 6 KW Schwingungsenergie aufnehmen können. Die militärischen Zwecken dienenden leichten Feldstationen sind entweder tragbar oder fahrbar eingerichtet. Bei den tragbaren, zur Fortschaffung auf vier Pferden bestimmten Stationen wird die Energie gewöhnlich einer kleinen, durch einen etwa dreipferdigen Benzinmotor oder ein Tretgestell angetriebenen Dynamomaschine entnommen. Als Sendedraht dient eine 100 m lange T-Antenne, die von zwei 12 m hohen leichten Teleskopmasten gehalten wird. Die fahrbaren Stationen sind gewöhnlich nach dem Protzsysteme gebaut (Abbildung 15) oder auf Automobilen untergebracht und erhalten zur Hochführung der

Antenne einen schnell aufzurichtenden 25 oder 45 m hohen Mast aus Magnalium oder Stahlrohr. Die tragbaren Stationen reichen 75 bis 125 km weit, die fahrbaren mit 6 P.S.-Benzinmotor und 1 KW Antennenenergie, je nach der Höhe des Mastes, 200 bis 600 km. Die drahtlose Telegraphie hat auch für die Luftschiffahrt und das Flugwesen eine hohe Bedeutung erlangt. Die Frage der Anbringung der Antenne ist in der Weise gelöst, daß bei den Luftschiffen und Freiballons als Hauptantenne ein aus der Gondel hängendes 50 bis 200 m langes, 1 bis 3 mm starkes Seil aus Siliziumbronze oder Kupfer benutzt wird. Das Gegengewicht bilden bei den starren und Pralluftschiffen die metallischen Teile, z. B. das Stahl- und Aluminiumgerüst der Gondel und der Kielfläche, die Motoren usw. Bei den Freiballons wird als Gegengewicht entweder nach Ludewig ein ringförmiger Draht um den Ballon gelegt oder nach Professor Mosler eine Drahtschleife in einer schlauchartigen Hülle aus Ballonstoff, die am Netzwerke senkrecht zum Äquator befestigt wird, eingezogen. Der Draht kann in der letzten Anordnung bei Gewitter leicht entfernt werden. Mit einer Energie von 2 KW sind vom Ballon aus Reichweiten bis zu 350 km erzielt worden. Bei Flugmaschinen wird entweder eine 50 bis 100 m lange Hängeantenne verwandt, wobei das Drahtgestell das Gegengewicht bildet, oder es sind vom Führersitze zwei Antennen isoliert nach den äußeren Stützstangen geführt und dann rückwärts am Schwanzende abgespannt. Farman hat von seinem Zweidecker aus mit einem 75 kg schweren Apparatsatz eine Entfernung von 200 km überbrückt, während dem Oberingenieur Ekelmann in Johannistal mit einem 32 kg schweren Sender eine Verständigung auf 150 km in 500 bis 600 m Höhe gelungen ist.

Die drahtlose Telegraphie hat gerade durch ihre besondere Eigenschaft, daß sich die Wellen nach allen Richtungen fortpflanzen, zur Rettung aus Seenot und zur allgemeinen Verbreitung von bestimmten Signalen und Nachrichten einen unschätzbaren Wert erlangt. Die bei der weiteren Entwickelung auftretende Forderung, die elektromagnetischen Wellen unter möglichster Wahrung des Telegraphengeheimnisses und bei voller Störungsfreiheit nur nach einer bestimmten Richtung leiten zu können, ist heute erst zum Teile erfüllt. Von den verschiedenen zu diesem Zwecke erdachten Systemen hat bisher keins eine allgemeinere praktische Verwendung gefunden. Eine gerichtete drahtlose Telegraphie im Sinne der heutigen Drahttelegraphie wird wohl auch stets ein ungelöstes Problem bleiben, denn selbst wenn es gelänge, die elektrischen Wellen in einer einzigen scharf abgegrenzten Richtung auszusenden, würden sie doch von allen in dieser Richtung liegenden Stationen aufgefangen werden können. Um Richtungsunterschiede in der Ausstrahlung der Wellen herbeizuführen, wird entweder eine Antenne von bestimmter Form oder das Zusammenwirken mehrerer Antennen benutzt. So schreibt z. B. Marconi geknickten Antennen eine richtende Wirkung zu. Seine für den transatlantischen Verkehr bestimmten Luftleiter bestehen demzufolge aus einer großen Zahl von Drähten, die zunächst fächerförmig 50 m hoch aufsteigen und dann rechtwinklig umbiegend als breites Band einige hundert Meter wagerecht, mit den freien Enden voneinander abgekehrt, verlaufen. Versuche mit mehreren Antennen gemeinschaftlich sind besonders von Professor Braun und Dr. Kiebitz angestellt. Braun erzielte dabei mit drei Antennen, Kiebitz mit zwei Antennen Richtungsunterschiede. Die Antennen wurden so erregt, daß die Phasen ihrer Schwingungen gegeneinander verschoben waren und die ausgestrahlten Wellen sich in der Richtung der Antennenebene verstärkten, in der Richtung senkrecht dazu aber aufhoben. Die Italiener Bellini und Tosi verwenden als Richtantenne eine Schleife, indem sie dem Sendergebilde die Form eines mit der Spitze nach oben ge-

stellten Dreiecks geben, das durch einen Holzmast getragen wird. Dieser Luftleiter bildet entweder einen offenen oder geschlossenen Sendekreis und zwar schwingen die beiden Antennenseiten mit einem Phasenunterschiede von 180 Grad. Die Schleifen wirken dabei genau so wie Antennenpaare. Um die Richtungen der ausgestrahlten Wellen wechseln zu können, werden zwei solche Luftleiterdreiecke gekreuzt. Zur Koppelung mit dem Sende- oder Empfangskreise dient ein Radiogonometer. Die gerichtete Telegraphie bietet ein willkommenes Mittel zur Ortsbestimmung auf See- und Luftschiffen. Diese können entweder mit einer festen Richtstation in Verbindung treten und sich die eigene Stellung ansagen lassen oder sie stellen selbst durch Richtantennen die Richtung der von den festen Stationen ausgehenden Zeichen fest. Die Richtwirkung von Antennenpaaren benutzend, hat Telefunken den sogenannten Telefunkenkompaß geschaffen. Auch Bellini und Tosi haben einen drahtlosen Kompaß gebaut, der in Frankreich für den Seeverkehr auf dem Kanal eingeführt ist.

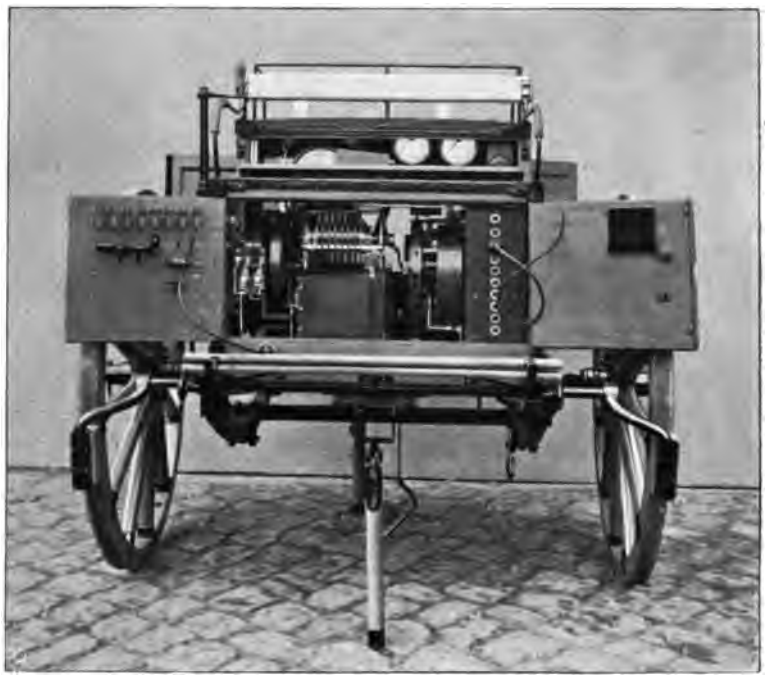


Abbildung 15. Senderkarren einer fahrbaren Militärstation für drahtlose Telegraphie (System Telefunken).

Das Abfangen drahtlos gegebener Zeichen durch Unberufene kann einmal dadurch erschwert werden, daß man die Sendeenergie nur gerade so stark wie nötig wählt oder indem man auf bestimmte vorherige Verabredung mit der Wellenlänge wechselt und so eine unbeteiligte Stelle zwingt, die neue Welle unter Zeitverlust zu suchen. Ein besseres Mittel bietet die Anwendung von chiffrierten Telegrammen; diese setzen jedoch eine sehr sichere Übertragung der Zeichen voraus, wie sie nicht immer möglich ist. In neuerer Zeit sind daher viele Versuche mit einer drahtlosen Maschinen- und Mehrfachtelegraphie angestellt worden, die gleichzeitig den Zwecken der Geheimtelegraphie dienen sollen. Alle diese Versuche haben jedoch bisher keine weitergehende praktische Bedeutung erlangt. Erwähnt seien die Systeme von Bull, Pedersen und Hovland.

Die drahtlose Telegraphie ist in unserem Verkehrsleben bereits ein so wichtiger Faktor geworden, daß sie uns heute unentbehrlich erscheint. Die große Zahl der vorhandenen Küsten- und Bordstationen (440 und 2450) beweist die wichtige Bedeutung, welche sie in der kurzen Zeit ihres Bestehens besonders für Handel und Seeschiffahrt gewonnen hat. Die Küsten fast aller Länder, besonders dicht diejenigen der Vereinigten Staaten von Amerika (142), von Großbritannien (43), Kanada (33),

Italien (19), Rußland (19), Frankreich (17) und Deutschland (16) sind mit einer Kette von drahtlosen Stationen besetzt. Die Landstation Norddeich verbreitet eilige und für Seefahrer wichtige Nachrichten, die sie von der nautischen Abteilung des Reichs-Marineamts erhält, und gibt daneben für Nord- und Ostsee zweimal täglich kurze Wetterberichte. Ferner ist ein besonderer regelmäßiger Sturmwarnungsdienst auf den Stationen Norddeich, Bülk und Danzig eingerichtet, welche die von der deutschen Seewarte in Hamburg ausgehenden Sturmwarnungen über das ganze Nord- und Ostseegebiet drahtlos weitergeben. Schließlich ist noch die Abgabe von Zeitsignalen zu erwähnen, die durch die Station in Norddeich und vom Eiffelturm in Paris mittags und um Mitternacht erfolgt und die den Schiffen in der Ostsee, dem englischen Kanal, im Mittelmeer und einem Teile des Atlantischen Ozeans zur astronomischen Längen- und damit Ortsbestimmung sehr wertvolle Dienste leistet. Auch die Zahl der Bordstationen (Großbritannien 668, Vereinigte Staaten 500, Deutschland 318, Frankreich 209, Italien 125, Japan 100 und Rußland 73) ist in stetem Wachsen begriffen. Alle größeren Schiffahrtslinien haben ihre Dampfer zur Sicherheit ihrer Reisenden und zur Verbesserung ihres Schiffsbetriebs mit drahtloser Telegraphie ausgerüstet. In vielen Ländern sind Gesetze und Verordnungen erlassen, welche die Schiffe zwingen, wellentelegraphische Apparate an Bord zu haben. Auch die deutsche Seeberufsgenossenschaft hat die Einführung einer derartigen Bestimmung für deutsche Seeschiffe beschlossen. Unschätzbare Dienste leistet ferner die drahtlose Telegraphie der Hochseesegelfischerei und den Fischdampfern. Auch die Versorgung der Schiffsreisenden mit Privat-, Geschäfts- und Zeitungsnachrichten gewinnt immer mehr Bedeutung, ebenso der Verkehr von den Schiffen nach dem Mutterlande, der durch die Einführung der sogenannten Ozeanbriefe mit billigen Gebühren unterstützt wird. Die militärische Bedeutung der drahtlosen Telegraphie ist besonders hoch anzuschlagen. Die Feuerprobe ist bereits abgelegt und zwar für die Kriegsmarine im russisch-japanischen Seekrieg und für das Landheer 1900 in China sowie 1904/5 während des Aufstands in unserem Südwestafrika. Als Ersatz für Kabel- und Landverbindungen ist bereits verschiedentlich ein ständiger drahtloser Verkehr eingerichtet worden. Am bemerkenswertesten ist die von Marconi seit 1910 zwischen Clifden (Irland) und Glace Bay (Kanada) (3100 km) geschaffene Verbindung, auf der die New York-Times seit kurzem ihren ganzen europäischen Telegrammverkehr abwickelt. Auch die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie (Berlin) plant, von ihrer Großstation in Nauen aus einen drahtlosen Verkehr mit einer bei New York zu errichtenden großen Station (Entfernung 5500 km) einzuführen. Besonders ersetzt die drahtlose Telegraphie Überlandlinien und Unterseekabel in den Fällen, in denen diese wegen der hohen Kosten nicht hergestellt oder verlegt werden können. So ist z. B. kürzlich die Deutsche Südsee-Ges. für drahtlose Telegraphie ins Leben getreten mit dem Zwecke, die deutschen Südsee-Kolonien drahtlos unter sich und mit der Kabelstation der Deutsch-Niederländischen Telegraphengesellschaft in Jap (Karolinen) zu verbinden und dadurch an das Welttelegraphennetz anzuschließen. Ferner ist in unseren afrikanischen Kolonien mit dem Ausbau eines Funkentelegraphennetzes begonnen worden. Außerordentlichen Wert hat die drahtlose Telegraphie für die Kolonialvölker erlangt, die durch sie billige und unabhängige Verbindungen zwischen Heimatland und Kolonien schaffen können. Die Versuche, auch Deutschland unter Ausschaltung der englischen Kabel drahtlos mit seinen Kolonien zu verbinden, sind aus der Tagespresse zur Genüge bekannt. Doch tritt die drahtlose Telegraphie durch alle diese Verbindungen keineswegs in einen ernsten Wettbewerb mit dem Drahttelegraphen. Die Unter-

seekabel werden vielmehr aller Voraussicht nach stets die Hauptadern des telegraphischen Weltverkehrs bleiben, auf denen die Kabeltelegramme mit ihren vielen Zahlen und chiffrierten Wörtern sicher, schnell und geheim nach den entferntesten Punkten der Erde gelangen. Daneben wird sich die drahtlose Überseetelegraphie aber ohne Zweifel als eine wichtige und wertvolle Ergänzung des Welttelegraphennetzes entwickeln.

4. DAS FERNSPRECHEN MIT LEITUNG

Der Fernsprecher ist in unseren Tagen zu einem unentbehrlichen Verkehrsmittel geworden, welches seine ältere Schwester, die Telegraphie, weit überflügelt hat. Betrug doch z. B. die Gesamtgebühreneinnahme der deutschen Reichs-Telegraphenverwaltung aus dem Telegrammverkehre 1910 rund 46, dagegen aus dem Fernsprechverkehre rund 127 Millionen Mark. Die gewaltige Bedeutung, welche der Fernsprecher für unser gesamtes Wirtschafts- und Gesellschaftsleben besitzt, spiegelt sich am besten in den statistischen Zahlen. Die Anzahl der Fernsprechapparate in den Ländern der Erde beträgt etwa 12½ Millionen, die Drahtlänge der Fernsprechleitungen rund 47 Millionen Kilometer und das im Fernsprechwesen angelegte Kapital wird auf rund 7,3 Milliarden Mark geschätzt, wovon etwa 4,2 Milliarden auf die Vereinigten Staaten und etwa 2,5 Milliarden auf Europa entfallen. Auf einer besonders hohen Stufe der Vollkommenheit steht der Fernsprecher in den Vereinigten Staaten, die mit ihren 83 Millionen Einwohnern rund 8,4 Millionen Sprechstellen besitzen, während ganz Europa mit 438 Millionen Einwohnern nur 3,2 Millionen Sprechstellen aufweist. Dieser ganz bedeutende Vorsprung Amerikas ist auf die großen dort zur Verfügung stehenden Geldmittel, die eigenartigen Geschäftseinrichtungen und die gegen europäische Verhältnisse langsamere Ausbreitung der Posten und Telegraphen zurückzuführen; es entfallen z. B. nur 17 v. H. des gesamten Welttelegraphenverkehrs auf die Vereinigten Staaten, während der Anteil von Europa 62 v. H. beträgt. Der Briefverkehr ist in Europa nahezu zweimal so stark wie in den Vereinigten Staaten. In Europa steht Deutschland mit 1 076 000 Fernsprechstellen (33,6 v. H. aller Sprechstellen in Europa) an der Spitze; es folgen dann Großbritannien mit 613 000, Frankreich mit 219 000, Schweden mit 175 000 und Rußland mit 131 000 Sprechstellen. Mit welchen Riesenteilnehmerzahlen die amerikanischen Großstädte rechnen, ergibt sich daraus, daß New York (402 000 Teilnehmer mit über 80 Ämtern) mehr Fernsprechstellen besitzt als Belgien, Dänemark, Italien, die Niederlande, Norwegen und Ungarn zusammengenommen; Chicago mehr als ganz Frankreich und Boston mehr als Österreich. In Europa entfallen 0,7 und in den Vereinigten Staaten 8,1 Fernsprechstellen auf je 100 Einwohner, während in den europäischen Großstädten im Mittel 2,6 (in Berlin mit 205 000 Teilnehmern: 6) und in den der Vereinigten Staaten 10,3 Fernsprechstellen auf je 100 Einwohner zu rechnen sind. Der gesamte Fernsprechverkehr der Erde ist für 1911 auf 22 Milliarden Gespräche geschätzt, von denen allein über 13 Milliarden auf die Vereinigten Staaten und 5 Milliarden auf Europa (davon auf Deutschland 1850 Millionen) entfallen. In den meisten Kulturstaaten bildet das Fernsprechwesen ebenso wie in Deutschland ein Staatsmonopol. In England ist erst kürzlich das Eigentum der National Telephone Co. mit 1600 Vermittelungsanstalten und 530 000 Sprechstellen in den Staatsbesitz übergegangen. In den Vereinigten Staaten liegt dagegen das Fernsprechwesen in den Händen von Telephongesellschaften, die in zwei sich scharf bekämpfende Lager zerfallen, nämlich in die zu einem der größten Trusts der Vereinigten Staaten unter Führung der American Telephone and Telegraph Co. vereinigten, über das ganze Land zerstreuten etwa 40 Bell-Gesell-

schaften mit einem Gesamtkapitale von annähernd 5 Milliarden Mark und in die zu Hunderten bestehenden, meist kleineren unabhängigen Gesellschaften (Independent Companies). Die A. T. a. T. Co. besitzt über 6½ Millionen Sprechstellen und ihre zur Hälfte unterirdischen Fernleitungen berühren über 70000 Orte.

Zu einer telephonischen Übermittelung gehört ein Sender (Mikrophon), der die beim Sprechen hervorgerufenen Schallwellen in elektrische Energie umsetzt, eine Leitung, welche die Energie bis zum Empfangsorte führt, und ein Empfänger (Fernhörer), welcher die elektrische Energie wieder in Schallwellen verwandelt, die dann auf unser Ohr einwirken. Mikrophon und Fernhörer sind in der Regel zu einem Apparate zusammengefügt, so daß man gleichzeitig sprechen und hören kann. Der Ruhm, den Fernsprecher erfunden zu haben, gebührt dem Friedrichsdorfer Lehrer Philipp Reis. Ihm gelang es 1861 zuerst, musikalische Töne und artikulierte Sprache elektrisch von einem Geber auf einen Empfänger zu übertragen. Während Blake den Geber nach dem von Reis benutzten Prinzipe zum Mikrophon ausbaute, wurde der Empfänger 1876 von dem amerikanischen Taubstummenlehrer Graham Bell durch Einfügung einer Eisenmembran und praktische Anordnung der wirksamen Teile zu dem heutigen Fernhörer umgestaltet. Das Kontaktmikrophon von Blake wurde 1878 wesentlich von dem Amerikaner David B. Hughes verbessert, während der Engländer Hunnings durch die Einführung der Kohlenkörner bahnbrechend für den neuzeitlichen Aufbau der Mikrophone wurde. Die neuesten Mikrophone bestehen aus zwei Kontaktflächen (Kohle, versilbertes Blech oder Platin), zwischen denen sich ein leicht bewegliches Kohlenmaterial (Kohlenkörner, Kohlenpulver) befindet, das an den vielen winzigen Kontaktstellen, einem durchfließenden Gleichstrom, einen hohen, mit dem gegenseitigen Drucke der Kohlenteilchen schwankenden Übergangswiderstand bietet. Bei dem Hineinsprechen in den Schalltrichter gerät eine als Kontaktfläche ausgebildete oder mit einer solchen in starrer Verbindung stehende Membran in schwingende Bewegungen und verursacht durch die Druckänderungen Stromschwankungen, die sich auf die Fernsprechleitung übertragen. Der Vorgang ist dabei nach Professor Breisig so aufzufassen, als ob das Mikrophon wie ein elektromagnetischer Wechselstromerzeuger wirkt, der dem Gleichstrome der Speisequelle einen Wechselstrom überlagert, dessen elektromotorische Kraft vom Speisestrom abhängig ist. Zur Vergrößerung der Reichweite hat man daher versucht, die Stärke des Speisestroms zu erhöhen. Da jedoch bei Kontaktmikrophonen mit zunehmender Stromstärke auch die schädliche Erwärmung wächst, müssen alsdann besondere Vorkehrungen zur Ableitung oder Verteilung der Wärme getroffen werden. Die sogenannten Starkstrommikrophone, die in letzter Zeit vielfach erfunden sind, weisen daher eine besondere Kühlvorrichtung auf. Eine praktische Verwendung hat bisher nur das Starkstrommikrophon der schwedischen Ingenieure Egnér und Holström gefunden, das aus mehreren Mikrophonzellen besteht und eine Belastung bis zu 6 Ampere verträgt. Die Reichweite soll bei einer 4,5 mm Kupferleitung über 4000 km betragen. Auch mit einem von der Firma E. Zwietusch & Co. für 3 Ampere gebauten Starkstrommikrophone sind günstige Sprechversuche angestellt. Der in vielgestaltiger Form verwandte Fernhörer von Bell beruht darauf, daß ein von den ankommenden Sprechströmen in vielen Windungen eines dünnen, seidenumsponnenen Kupferdrahts umflossener Dauermagnet in seinem magnetischen Felde eine Eisenmembran der Wechselzahl der Sprechströme entsprechend zum Schwingen bringt. Trotzdem der Fernhörer nur einen leidlichen Wirkungsgrad hat, selbst wenn die erregenden Schwingungen dieselbe Frequenz wie die Eigenschwingungen der Membran zeigen, gibt er die menschliche Sprache mit

Abbildung 16. Ortsfernsprechamt (rechts) und Fernamt (links) in Eisenach (Deutsche Telephonwerke G. m. b. H. Berlin).

großer Klangtreue wieder, weil unser Ohr ein Resonanzapparat ist, der jeden durch einen oder mehrere Töne fester Höhe (Formanten) hervorgebrachten Klang an diesen Tönen erkennt.

Die einzelnen Teilnehmersprechstellen sind durch Anschlußleitungen mit einer Ortsvermittelungstelle (Abbildung 16) verbunden, welche die Gesprächsverbindungen im Ortsverkehre herstellt. Zur Regelung des Fernverkehrs und zur Überwachung der Ferngespräche dienen besondere Fernämter (Abbildung 16), die für eine gute Ausnutzung der bei ihnen eingeführten Fernleitungen sorgen. Die Fernsprechanschlußleitungen, aus Bronze- oder Hartkupferdraht von 1,5 mm Durchmesser hergestellt, wurden anfangs sämtlich oberirdisch geführt und zwar in der Stadt an eisernen Dachrohrständern, draußen an Holz- und Eisengestängen. Ihr Anwachsen und die Rücksicht auf die vielen Störungen durch Naturereignisse und die in der Nähe befindlichen Starkstromanlagen zwangen jedoch sehr bald, sie mehr und mehr in Kabel zu verlegen. Zurzeit verlaufen in Deutschland von den 4571000 km Anschlußleitungen rund 80 v. H. unterirdisch. Die Fernsprechkabel haben bei uns wie in den meisten Ländern zur Verringerung der Kapazität Luftraum- und Papierisolation. Die Stärke der Kupferadern beträgt bei gewöhnlichen Anschlußleitungen im allgemeinen 0,8 mm (seltener 0,6 mm), bei den Ortsverbindungsleitungen 1,5 bis 2 mm. Die Zweige einer Doppelleitung sind zu Doppeladern verseilt, von denen bis zu 500 und 600 in einem

Abbildung 17. Fernsprechanschlußkabel mit Papierband- und Luftraumisolation, zur Abnahmemessung aufgeteilt (Kabelwerke Dr. Cassirer & Co., Charlottenburg).

Das abgebildete Kabel enthält 600 verdrillte Aderpaare (Drahtstärke 0,6 mm), die in konzentrischen Lagen wechselnder Richtung angeordnet sind. Die Kabelseele ist mit Band umwickelt und mit einem Bleimantel umpreßt.

Kabel untergebracht werden (Abbildung 17 und 18). Gegen Eindringen von Feuchtigkeit schützt die empfindlichen Papierkabel ein Bleimantel, der u. U. eine Bewehrung durch verzinkte Flacheisendrähte von trapezförmigem Querschnitt oder durch runde Stahldrähte erhält. Bei der großen Wichtigkeit einer guten Isolation der Fernsprechkabel werden die Bleimäntel der Papierkabel in größeren Ortsnetzen durch Druckluft, die entweder ortsfesten oder fahrbaren Anlagen entnommen wird, zeitweilig auf ihre Dichtigkeit geprüft. Innerhalb der Orte sind die Fernsprechkabel in der Regel in Zementkanäle nach dem Blocksysteme mit Einzelrohrzügen eingezogen. Die in die Kellerräume der Fernsprechämter eingeführten Hauptkabel (Abbildung 19) werden durch Bleiübergangsmuffen in einzelne Abschlußkabel (Gummi-, Papier-, Baumwollseidenkabel) aufgeteilt, die dann zum Umschalteraume des Amtes hochgeführt und dort über Endverschlüsse oder unmittelbar an das Umschaltegestell angeschlossen werden (Abbild. 20).

Gewöhnlich wird jedem Teilnehmer eine besondere Anschlußleitung zum uneingeschränkten Gebrauche zugewiesen. Zur besseren wirtschaftlichen Ausnutzung und um auch Teilnehmern mit geringem Gesprächsbedürfnisse den Gebrauch des Fernsprechers zugänglich zu machen, werden indessen auch mehrere Sprechstellen in ein und dieselbe Amtsleitung gelegt. Am Ende der Hauptleitung wird dann ein von Hand zu bedienender Umschalter eingeschaltet, durch den die mit besonderen Nebenleitungen sternförmig angeschlossenen Nebenstellen mit der Amtsleitung verbunden werden (Sternschaltung). Bei nur einer Nebenstelle dient zum Umschalten ein einfacher Zwischenstellenumschalter, während für mehrere Nebenanschlüsse ein kleiner Vermittelungsschrank aufgestellt wird. Für größere Nebenstellenanlagen werden von der deutschen Reichs-Telegraphenverwaltung neuerdings Rückstellklappenschränke für 60 und mehr Leitungen geliefert, die als Anrufzeichen Rückstellklappen erhalten, deren Rückstellung beim Einfügen des Abfragestöpsels in die Abfrageklinke rein mechanisch oder elektrisch erfolgt. Um die Tätigkeit der Hauptstelle auszuschalten, ist eine große Zahl von Schaltungen entworfen, welche die Handbedienung durch einen automatischen Schalter ersetzen. Eine größere praktische Bedeutung hat jedoch bisher nur das Klein-

Abbildung 18. Fernsprechanschlußkabel mit 600 Aderpaaren (vgl. Abbildung 17), Querschnitt, äußerer Durchmesser 76 mm (Kabelwerke Dr. Cassirer & Co., Charlottenburg).

gruppensystem von Postrat Steidle erlangt, das seit 1906 in Bayern eingeführt ist. Das System faßt 10—50 Teilnehmer mit geringer Gesprächszahl zu Untergruppen zusammen, die durch eine oder zwei Hauptleitungen an das Vermittelungsamt angeschlossen werden. Die Gesprächsvermittelung unter den Gruppenteilnehmern und mit dem Amte erfolgt durch einen selbsttätig wirkenden Gruppenumschalter (stumme Umschaltestelle). Steidle erhofft auf diese Weise die Entwickelung einer neuen billigen Sprechstellenart, der ständigen Wohnungsanschlüsse, die eine praktische Ergänzung der neuzeitlichen Komforteinrichtung der Wohnungen bilden sollen. Liegen die einzelnen, zusammenzufassenden Sprechstellen weit auseinander, so wird die Parallel-

Abbildung 19. Einführung der Straßenkabel (250-paarig) in das Kellergeschoß eines Fernsprechamts. Aufteilung in fünf 50-paarige Kabel durch Übergangsmuffen und Hochführung.

oder Reihenschaltung angewandt, bei der die Sprechstellen (meist zwei bis vier) nacheinander in eine durchlaufende Amtsleitung eingefügt sind (partyline, Partnerleitung, Gesellschaftsleitung). Jeder Teilnehmer kann in der Regel auf der gemeinsamen Amtsleitung unabhängig von seinen Partnern das Amt erreichen und vom Amte wahlweise, ohne daß es die Partner wahrnehmen, angerufen werden. In den nach dem Western-Systeme geschalteten 4-Partnerleitungen der American Telephone and Telegraph Co. wird mit pulsierendem Gleichstrome geweckt. Die Wecker erhalten Richtfedern, damit sie nur auf Gleichströme bestimmter Richtung ansprechen. Eine größere Verbreitung hat das von Dean ausgearbeitete Rufverfahren mit Wechselströmen verschiedener Schwingungszahl erfahren, auf welche die verschiedenen Wecker abgestimmt sind. Auf eine an sich erwünschte Unabhängigkeit der Partner voneinander ist in den meisten Fällen verzichtet worden, um die Anlage nicht unnötig zu verteuern. Das Partnerleitungsystem findet besonders in Amerika ausgedehnte Verwendung.

Etwa die Hälfte aller Sprechstellen in 90 größeren Netzen der American Telephone and Telegraph Co. sind Gesellschaftsanschlüsse. Auch die in Amerika bestehenden besonderen Farmer- und Landleitungen (etwa 17700 mit etwa 566000 Sprechstellen) sind vielfach nach dem Partnersysteme geschaltet. Von den europäischen Staaten hat zuerst Dänemark das System in Kopenhagen eingeführt und zwar durch 2- und 4-Partnerleitungen für Teilnehmer, die etwa 2000 Gespräche jährlich führen. Ein besonderes von Oberbaurat Dietl ausgebildetes System von Gesellschaftsanschlüssen findet sich in Österreich (Viertelanschlüsse). Auch die deutsche Reichs-Telegraphenverwaltung hat neuerdings mit den Fernsprech-Reihenanlagen die Reihenschaltung für bestimmte Fälle aufgenommen. Die Amtsleitung läuft dabei hintereinander durch sämtliche Sprechstellen und endet bei der Hauptstelle. Die einzelnen Sprechstellen schalten sich durch Amtschalter oder Tasten unter Abtrennung der rückwärtigen Verbindungen in die Amtsleitung ein. Zur Verbindung der Nebenstellen unter sich dienen besondere Nebenstellenleitungen mit Linienwählern. Der vom Amte ausgehende Ruf gelangt stets zur Hauptstelle, welche die gewünschte Nebenstelle zum Einschalten in die Amtsleitung auffordert. Während des Gesprächs auf der Hauptleitung kann durch eine Rückfrageeinrichtung mit einer beliebigen Nebenstelle Rücksprache gehalten werden. Die Reihenanlagen haben sich bereits in der kurzen Zeit ihres Bestehens wegen der Erfüllung der meisten an eine neuzeitliche Fernsprecheinrichtung zu stellenden Anforderungen und wegen ihrer Billigkeit eine große Beliebtheit erworben. Neben den für den Außenverkehr bestimmten Fernsprechanlagen bestehen solche in großer Zahl und mit den mannigfachsten Schaltungen auch für den inneren Verkehr in Wohnungen sowie in Fabrik- und Geschäftsräumen oder dergleichen. Sie sind mit Linienwählern (Druckknopfwählern und Reihenschaltern) oder Zentralumschaltern ausgerüstet und haben zum Teile besondere Vorrichtungen, die auch einen Verkehr über eine Amtsleitung nach außen ermöglichen (Janusschalter).

Die Ortsvermittelungsämter, auf denen die Teilnehmerleitungen unter sich verbunden werden, teilen sich in drei Gruppen und zwar in Handämter, vollautomatische und halbautomatische Ämter. Die gebräuchlichste Form ist die der Handämter, bei denen die Zusammenschaltung zweier Leitungen lediglich durch die Hand einer oder mehrerer Beamtinnen erfolgt. Die neuzeitlichen Umschalteeinrichtungen bei den größeren Ämtern mit Tausenden von Teilnehmern sind nach dem Vielfachsystem eingerichtet, d. h. die Anschlußleitungen sind mit Verbindungsklinken durch sämtliche Plätze des Amtes geführt, so daß die Beamtinnen jede Verbindung mit einem Teilnehmer des eigenen Amtes unmittelbar an ihren Arbeitsplätzen ausführen können. Um das Klinkenfeld dabei in erreichbaren Grenzen zu halten, werden Ämter mit einer größeren Aufnahmefähigkeit als 10000 Leitungen in der Regel nicht gebaut. Der Strom zur Speisung der Sprechstellenmikrophone wird bei den großen Ämtern einer für alle Anschlußleitungen gemeinschaftlichen, auf dem Amte aufgestellten und aus Sammlern bestehenden Zentralbatterie (Z.-B.) entnommen, die unmittelbar aus dem Starkstromnetze, durch rotierende Umformer oder durch Gleichrichter geladen wird. Der Strombedarf für ein Ortsgespräch beträgt etwa 8—10 Milliamperestunden, so daß sich der Tagesverbrauch eines größeren Amtes mit täglich 200000 Gesprächen auf etwa 1600 bis 2000 AS beläuft. Die Z.-B., deren einer Pol zur Vermeidung von Mitsprechen zwischen den Teilnehmerleitungen bei Nebenschließungen geerdet ist, ermöglicht zugleich den selbsttätigen Amtsanruf und ein zweiseitiges Schlußzeichen. Sämtliche Signale werden durch kleine Glühlampen gegeben. Sobald ein Teilnehmer seinen Fernhörer abhebt, glüht auf dem Amte seine Anruflampe auf. Die Beamtin schaltet sich ein,

Abbildung 20. Umschalteraum des Fernsprechamts in Metz (Deutsche Telephonwerke G. m. b. H., Berlin). Links der Hauptverteiler mit Sicherungsleisten, in der Mitte der Zwischenverteiler mit Lötösenstreifen und rechts die Relaisgestelle.

indem sie einen Abfragestöpsel in die bei der Lampe liegende Abfrageklinke steckt (die Anruflampe erlischt dabei), und fragt ab. Mit dem zum Abfragestöpsel gehörigen Verbindungstöpsel prüft sie die gewünschte Anschlußleitung an der ihr zunächst liegenden Verbindungsklinke, setzt ihn, wenn sie kein Knacken hört und die Leitung also unbesetzt ist, in die Klinke ein und sendet Rufstrom (Wechselstrom) zur verlangten Sprechstelle. An dem benutzten Schnurpaare liegt für den anrufenden und den angerufenen Teilnehmer je eine Glühlampe als Schlußzeichen. Hängen beide Teilnehmer ihren Fernhörer wieder an, so glühen diese Lampen auf und die Verbindung wird getrennt. Die einzelnen Ämter eines Ortsnetzes werden durch Ortsverbindungsleitungen miteinander verbunden, die getrennt nach ankommenden und abgehenden Verbindungen betrieben werden. Sie sind entweder für den gewöhnlichen Anruf oder den Dienstleitungsbetrieb eingerichtet. Beim Anrufbetriebe wird der anrufende Teilnehmer von seiner Platzbeamtin zunächst mit dem gewünschten fremden Amte verbunden, bei dem er dann den verlangten Teilnehmer selbst bestellen muß. Im Dienstleitungsbetriebe werden Dienst- und Verbindungsleitungen unterschieden. Erstere dienen nur zum gegenseitigen Verkehre der Beamtinnen, letztere zum Verkehre der Teilnehmer untereinander. Beim abgehenden Amte liegen auf den einzelnen Arbeitsplätzen die Dienstleitungen in Vielfachschaltung an Tasten und die Verbindungsleitungen an Vielfachklinken. Auf der ankommenden Seite ist jede Dienst-

leitung mit dem Fernhörer (Sprechgarnitur) einer Beamtin verbunden, während die zur Dienstleitung gehörigen Verbindungsleitungen in Stöpseln endigen. Der anrufende Teilnehmer nennt seiner Beamtin (A-Beamtin) sogleich Amt und Nummer des gewünschten Teilnehmers. Die Beamtin schaltet sich durch Tastendruck in eine ihr zugewiesene, nach dem betreffenden Amte führende Dienstleitung ein und nennt der Beamtin des anderen Amtes (B-Beamtin) die gewünschte Nummer. Die B-Beamtin gibt die Nummer der zu benutzenden Verbindungsleitung zurück, in der dann beide Beamtinnen die Verbindung herstellen. Der Anruf des gewünschten Teilnehmers erfolgt in der Regel zur Entlastung der B-Beamtin durch eine selbsttätige Rufeinrichtung, durch welche alle sechs bis sieben Sekunden eine Sekunde lang in die gewünschte Leitung Rufstrom gesandt wird, bis der Teilnehmer seinen Fernhörer abhebt. In Amerika ist zwischen verschiedenen Ämtern zur besseren Ausnutzung der Verbindungsleitungen ein Tandem-Dienstleitungsbetrieb eingerichtet, bei dem die nach den einzelnen Ämtern führenden Dienst- und Verbindungsleitungen bei einem Zentralamte zusammenlaufen, das alle Verbindungen vermittelt. Der Umstand, daß in großen Städten mit mehreren Ortsämtern nur etwa 20—30 v. H. der von den Teilnehmern verlangten Verbindungen im

Abbildung 21. Ortsfernsprechamt Berlin-Kurfürst, Teilaufnahme (A.-G. Siemens & Halske, Berlin).
A-Schränke ohne Vielfachfeld für den Dienstleitungsbetrieb.

eigenen Amte verbleiben, hat dazu geführt, den Dienstleitungsbetrieb auch für den inneren Verkehr der Ämter einzuführen und besondere Abfrage- und Verbindungsplätze (A- und B-Plätze) zu schaffen (Abbildung 21 und 22). Das Vielfachfeld ist dann

nur an den B-Plätzen erforderlich, während die A-Plätze die Anruflampen und Abfrageklinken erhalten. Hierdurch ist neben einer Ersparnis an Klinken und Kabeln der Betrieb wesentlich verbessert und beschleunigt. Eine A-Beamtin kann 150 bis 170 Verbindungen in der Stunde herstellen, so daß ihr je nach der Gesprächsdichte 85 bis 100 Pauschgebühren- oder 240 und mehr Grundgebührenteilnehmer zur Bedienung zugewiesen werden können. Die B-Beamtin führt in Berlin etwa 500 Verbindungen stündlich aus. Zur Vermeidung einer zeitweisen Überlastung an einem Arbeitsplatze dient das von Avén angegebene und zuerst in Stockholm 1900, später auch in Rotterdam ausgeführte Verteilersystem. Das Amt ist dabei in das Verteiler- und das Verbindungsamt getrennt. Die Teilnehmer werden von der Verteilerbeamtin beim Eingang eines Anrufs ohne weiteres auf einen an dem Aufleuchten einer Glühlampe als frei kenntlichen Verbindungsplatz geschaltet, an dem die Verbindungsbeamtin abfragt und verbindet. Der Anruf der Verbindungsbeamtin erfolgt durch die Verteilerbeamtin schon beim Hochheben des Abfragestöpsels. Das Verteilersystem bietet eine Ersparnis an Anlagekosten, da die Zahl der Klinkenfelder gegenüber der gewöhnlichen Betriebsart auf etwa die Hälfte verringert werden kann. Außerdem ist die zu leistende Arbeit wenigstens auf die Verbindungsbeamtinnen gleichmäßiger verteilt. Das größte Verteileramt und zugleich das größte Amt der Welt ist in Hamburg durch die Deutschen Telephonwerke (Berlin) mit einer Aufnahmefähigkeit bis zu 80000 Anschlüssen

Abbild. 22. Ortsfernsprechamt Berlin-Kurfürst (A.-G. Siemens & Halske, Berlin). B-Schränke mit Vielfachfeld für 10000 Anschlußleitungen (Dienstleitungsbetrieb).

(zurzeit 6 Gruppen zu je 10000 Teilnehmern) gebaut. An jeder Verbindung sind hier drei Beamtinnen beteiligt. Die Verteilerbeamtin (A-Beamtin) gibt den Anruf an die B-Beamtin weiter. Diese fragt ab, nimmt die Gruppenzahl entgegen und leitet die Verbindung an eine freie C-Beamtin der verlangten Gruppe. Eine Verteilerbeamtin kann bei guter Übung 800—1000 Anrufe in der Stunde weitergeben, die B-Beamtin erledigt etwa 400—500 und die C-Beamtin etwa 200 Verbindungen in derselben Zeit. Auf etwa je 600 täglich auszuführende Verbindungen kommt in Hamburg eine Arbeitskraft. Eine Art Verteilersystem ist das in Kopenhagen nach den Angaben von Johannsen ausgeführte Hilfssystem. Jede Beamtin erhält drei sogenannte Fortwerfschnüre mit je einem selbsttätigen Wähler, durch welche sie bei zeitweiliger Überlastung Anrufe an eine andere Beamtin weitergeben kann. In Kopenhagen werden etwa 10 v. H. der Anrufe mit diesen Fortwerfschnüren erledigt.

Die automatischen Ämter (Selbstanschlußämter) haben den Zweck, die Beamtin bei der Herstellung, Überwachung und Trennung der Verbindungen durch Maschinen (Wählereinrichtungen) zu ersetzen. Das erste automatische Amt wurde durch die Automatic Electric Co. zu Chicago bereits vor etwa zwanzig Jahren nach dem Systeme des Amerikaners Strowger gebaut. Aber erst in neuerer Zeit beginnt die automatische Telephonie eine bedeutendere Rolle zu spielen. Das System von Strowger, das sich bisher allen anderen bei weitem überlegen gezeigt hat und das weiter von Keith und den Gebrüdern Erickson entwickelt worden ist, wurde von der A.-G. Siemens & Halske im Einvernehmen mit der deutschen Reichs-Telegraphenverwaltung und der bayerischen Telegraphenverwaltung besonders den europäischen Verhältnissen angepaßt und in mechanischer Beziehung wesentlich vervollkommnet. Die Teilnehmerapparate (Abbildung 23) sind mit einem Nummernschalter versehen, der äußerlich aus einer Fingerscheibe besteht, die am Rande zehn mit 1 bis 0 bezeichnete Öffnungen trägt. Wird z. B. der Anschluß 73 gewünscht, so steckt man einen Finger der Reihe nach in die Öffnungen 7 und 3 und dreht die Wählscheibe jedesmal rechts herum bis zu einem Anschlage. Die Scheibe wird nach jeder Drehung durch Federkraft in die Ruhelage zurückgezogen und macht dabei eine entsprechende Zahl von Kontakten, welche die Wähler auf dem Amte betätigen. Ist die Scheibe zum letzten Male in ihre Ruhelage zurückgekehrt, so sind die Teilnehmer verbunden und die gewünschte Sprechstelle wird automatisch angerufen. Bei besetzter Leitung ertönt im Fernhörer des Anrufenden ein Summergeräusch. In Österreich sind die Apparate nach den Angaben von Dietl mit abweichenden Impulssendern ausgerüstet. Die gewünschte Nummer wird dabei sichtbar eingestellt und dann durch Drehen einer Kurbel der Ablauf des Stromstoßsenders ausgelöst. Zur

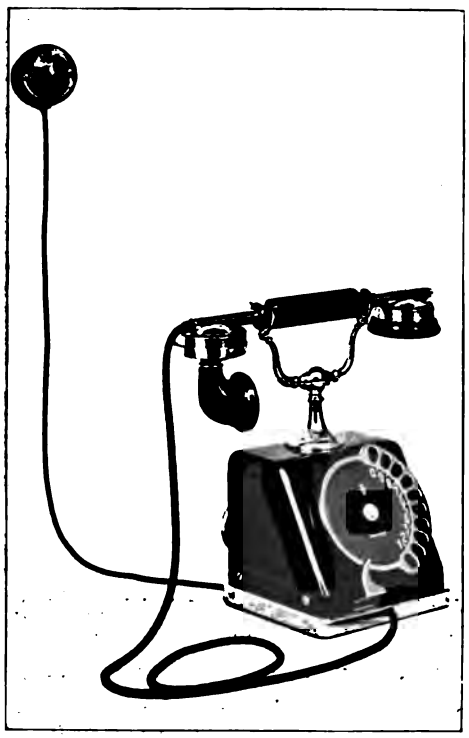


Abbildung 23. Tischapparat Z.B. für Selbstanschlußämter (A.-G. Siemens & Halske, Berlin).

Verbindung von 100 Teilnehmern untereinander dienen Leitungswähler (Abbildung 24), die 10 halbkreisförmige, übereinander liegende Kontaktreihen zu je 10 Kontakten aufweisen. Über den Kontakten schleift ein Kontaktarm, der durch einen Hebemagneten bis zu jeder Horizontalreihe gehoben und durch einen Drehmagneten über die Horizontalreihe hinweggeführt werden kann. Wurde Anschluß 73 gewählt, so rücken die ersten sieben Stromstöße den Kontaktarm schrittweise auf die Horizontalreihe 7. Darauf wird durch den Steuerschalter (Abbildung 25) der Drehmagnet eingeschaltet, der den Kontaktarm bei drei weiteren Stromstößen auf den dritten Kontakt bringt. Der Steuerschalter prüft selbsttätig die verlangte Leitung auf Besetztsein, sperrt sie bei Freisein, gibt dem rufenden Teilnehmer ein Zeichen, daß die Leitung frei oder besetzt ist, und schaltet den Rufstrom an. Meldet sich der verlangte Teilnehmer, so rückt der Steuerschalter aus der Wartestellung in die Endstellung und verbindet die Teilnehmer. Hängen die Teilnehmer den Hörer an, gehen Steuerschalter und Leitungswähler in die Ruhelage zurück. Da nicht alle Teilnehmer zu gleicher Zeit sprechen, erhält nicht jeder Teilnehmer einen besonderen Leitungswähler, sondern einen kleineren, zehnkontaktigen Vorwähler (Anrufverteiler) (Abbildung 26) oder einen Anrufsucher. Die zehn Kontaktgruppen der Vorwähler sind mit je einem Leitungswähler verbunden. Bei mehr als 100 Anschlüssen sind besondere Gruppenwähler erforderlich, die ähnlich gebaut sind wie die Leitungswähler, und mit denen freie Leitungswähler aus den verschiedenen Zehntausend-, Tausend- und Hundertgruppen ausgewählt werden. Beim Tausendsysteme sucht z. B. der Vorwähler zunächst einen freien Gruppenwähler, der durch die entsprechenden Stromstöße auf die gewünschte Hundertreihe eingestellt wird und dessen Kontaktarm sich dann einen freien Leitungswähler dieser Hundertgruppe auswählt. Im Zehntausendsysteme tritt ein weiterer Gruppenwähler für die Auswahl der Tausendgruppen hinzu. In neuester Zeit gehen Versuche dahin, die Zahl der Gruppen-

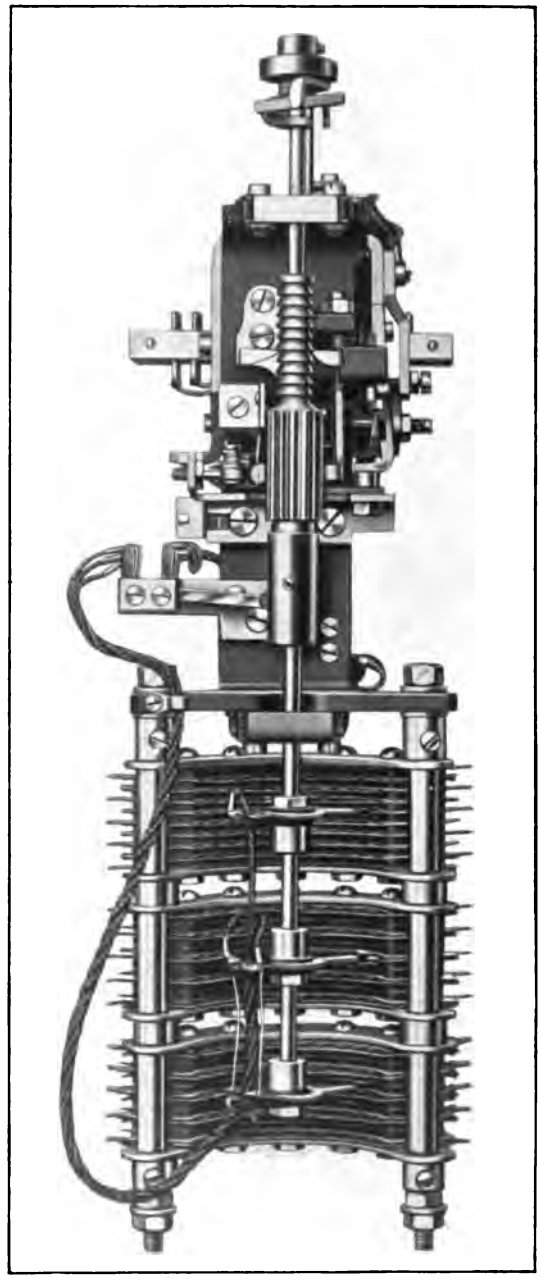


Abbildung 24. Strowgerwähler mit Kontaktsatz für Selbstanschlußämter (A.-G. Siemens & Halske, Berlin).

wähler durch doppelte Vorwähler zu vermindern. Das automatische System bietet durch seine Schmiegsamkeit die Möglichkeit, einzelne Gruppen eines Amtes abzuzweigen und kleinere Unterzentralen mit 100 bis 500 Anschlüssen zu bilden, die in Gegenden mit großer Abonnentendichte gelegt werden. Die Kosten für die Anschlußleitungen werden dadurch auf das geringstmögliche Maß herabgesetzt. Große Bedeutung erlangt auch das automatische System für das flache Land, dem auf diese Weise der Fernsprecher zu jeder Tag- und Nachtzeit zur Verfügung gestellt werden kann. Die Vorteile des automatischen Betriebs liegen darin, daß der Teilnehmer seine Verbindungen selbst herstellt, Fehlanschlüsse somit vermindert werden, Doppelverbindungen nur bei erheblichen Störungen vorkommen und eine vorzeitige Trennung ausgeschlossen ist. Der Teilnehmer erhält seine Verbindungen geheim und schnell und trennt selbst sofort nach Beendigung des Gesprächs einfach durch Anhängen des Hörers, so daß er sogleich eine neue Verbindung herstellen kann. Als Nachteil des automatischen Systems wird angegeben, daß das Drehen der Fingerscheibe zu Irrtümern Veranlassung geben kann, große Aufmerksamkeit erfordert und namentlich bei hohen Nummern verhältnismäßig viel Zeit kostet. Die größte Ausdehnung hat das automatische System in Amerika gewonnen, wo die Automatic Electric Co. in etwa 130 Orten automatische Ämter nach dem Strowgersysteme mit zusammen annähernd 300000 Anschlüssen betreibt. Das größte automatische Amt besitzt Chicago mit etwa 29000 Teilnehmern. In Europa ist die Zahl der automatischen Ämter noch sehr gering. Im deutschen Reichs-Telegraphengebiete sind zurzeit neben Hildesheim (1908) mit 1400 Teilnehmern und Altenburg (1910) mit 1000 Teilnehmern noch fünf kleinere automatische Ämter nach dem Systeme von Siemens & Halske im Betriebe. Die bayerische Telegraphenverwaltung hat nach demselben Systeme mit den Ämtern Schwabing (3000 Teilnehmer) (Abbildung 27) und Haidhausen (2000 Teilnehmer) die Einführung des automatischen Betriebs in München begonnen, und in Österreich sind die Ämter Graz und Krakau automatisch eingerichtet. In England ist kürzlich ein Probeamt für 500 Anschlüsse nach dem Strowgersystem eröffnet und ein zweites Amt wird nach dem Lorimersysteme geplant. Ebenso ist in Italien der Bau von zwei automatischen Fernsprechämtern in Rom in Aussicht genommen. Kleinere Versuchsämter nach dem Lorimersysteme befinden sich noch in Paris und Lyon.

Abbildung 25. Relaissatz mit Steuerschalter zum Strowgerwähler (A.-G. Siemens & Halske, Berlin).

Eine Zwischenstufe zwischen Handamt und automatischem Amte ist das halbautomatische Amt, bei dem die gewöhnlichen Fernsprechapparate weiter benutzt werden und der Anruf des Amtes auf gewöhnliche Weise durch Abheben des Fernhörers erfolgt. Die Leitung wird beim Anrufe selbsttätig auf einen freien Abfrageplatz geschaltet, die bedienende Beamtin nimmt die gewünschte Anschlußnummer entgegen und leitet die Verbindung durch Niederdrücken von Nummerntasten ein (Abbildung 28). Beim Auslösen der Einstellung wird die Verbindung durch einen Kontaktgeber, der die Fingerwählscheibe des vollautomatischen Betriebs vertritt, hergestellt. Jede Beamtin kann auf diese Weise etwa 400 Anrufe in der Stunde beantworten. Das halbautomatische System hat den Vorzug, daß die Einstellung der Wählerscheibe wegfällt und das Amt in gewöhnlicher Weise angerufen werden kann. Die Teilnehmer werden außerdem schneller bedient und getrennt als bei den Handämtern. Dafür haben die halbautomatischen Ämter aber wieder den Nachteil, daß die Teilnehmer auf das bedienende Personal angewiesen bleiben und daß sich der Betrieb wegen der entstehenden Bedienungskosten im allgemeinen wirtschaftlich nicht so günstig gestaltet wie bei den vollautomatischen Ämtern. Das erste halbautomatische Amt in Europa wurde von Siemens & Halske als Unteramt in Amsterdam mit 2000 Teilnehmern eingerichtet. Die deutsche Reichs-Telegraphenverwaltung hat kürzlich ein großes halbautomatisches Amt für 4000 Anschlüsse in Posen in Betrieb genommen und läßt zurzeit ein Amt für 17000 Anschlüsse in Dresden durch dieselbe Firma bauen. Österreich plant, das halbautomatische System in Wien einzuführen.

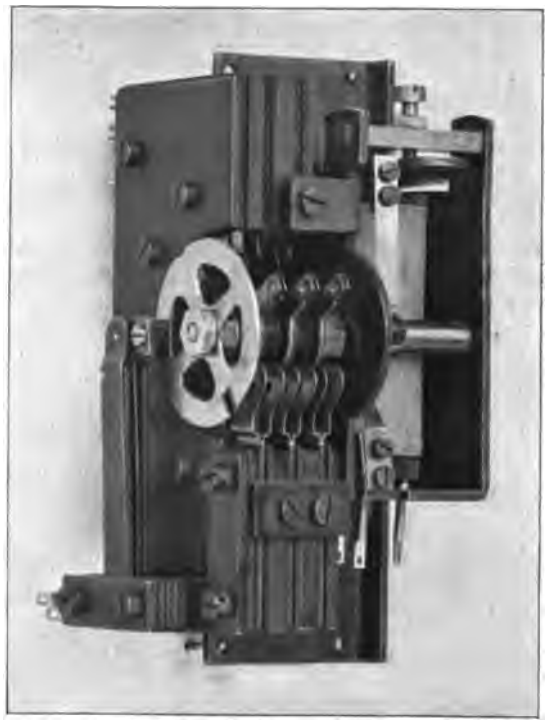


Abbildung 26. Vorwähler (Anrufverteiler) für Selbstanschlußämter (A.-G. Siemens & Halske, Berlin).

Mechanisch und elektrisch sind Handbetrieb, halbautomatischer und vollautomatischer Betrieb so vollkommen durchgebildet, daß sie sämtlich eine allen Betriebsbedürfnissen gerecht werdende Sicherheit und Anpassungsfähigkeit bieten. Ihre Rentabilität schwankt je nach der Größe der Ämter, dem Umfange des Verkehrs sowie nach den Leistungen und Gehältern der Beamtinnen. Die Frage, welches System den Vorzug verdient, kann daher nur nach den örtlichen Verhältnissen beurteilt werden. Immerhin ist, da der Fortschritt der Kultur dahin drängt, die Menschenkraft immer mehr durch Maschinen zu ersetzen, das automatische Fernsprechsystem wohl als das der Zukunft anzusprechen. Diese Entwickelung wird dadurch begünstigt, daß sich das automatische System zwanglos in die vorhandenen Einrichtungen einfügt.

Die Fernleitungen, welche die einzelnen Ortsfernsprechnetze untereinander verbinden, stellen einen der wichtigsten Bestandteile der Fernsprechanlagen dar. Besonders in Deutschland, das mit seinen 1152000 km Fernleitungen (davon etwa

300000 km unterirdisch) die Hälfte aller Fernleitungen Europas besitzt, ist der Fernverkehr stark ausgebildet. In neuerer Zeit richtet man zur besseren Ausnutzung diese kostspieligen Anlagen in immer größerem Umfange zum gleichzeitigen Telegraphieren und Fernsprechen sowie zum Mehrfachfernsprechen ein. Um gleichzeitig Gespräche und Telegramme ohne gegenseitige Störung abwickeln zu können (Simultanbetrieb), wird in der Regel die Wheatstonesche Brückenanordnung benutzt. Die Brücke ist an beiden Diagonalpunkten aufgetrennt und bis zum fernen Amte so auseinandergezogen, daß zwei Paar Diagonalpunkte und somit zwei Brücken entstehen. In die Brücken werden die Fernsprechapparate und an die anderen Verzweigungspunkte die Telegraphenapparate gelegt. Die Fernhörer bleiben von den Gleichströmen des Telegraphensystems unberührt und den Sprechströmen wird der Weg zu den Telegraphenapparaten durch Drosselspulen versperrt. Neben Deutschland, wo die Fernsprechleitungen in ausgedehntem Maße zur Telegrammbeförderung mit Klopfer und Hughes ausgenutzt werden, ist die Doppelbenutzung in Amerika sehr gebräuchlich. Die Telephongesellschaften erzielen dabei aus der Vermietung ihrer Fernleitungen zu Telegraphenzwecken einen großen Gewinn. Ein weiteres Mittel zur Ausnutzung der Fernleitungen bietet das Mehrfachfernsprechen. Zwei Fernsprechdoppelleitungen werden zu einem dritten Stromkreise (dem Phantomkreise) so zusammengeschaltet, daß die

Abbild. 27. Selbstanschlußamt in München-Schwabing, Wählergestelle (A.-G. Siemens & Halske, Berlin).

beiden Leitungszweige der einen Stammleitung nebeneinander als Hinleitung und die der anderen Stammleitung als Rückleitung für den dritten Stromkreis dienen. In Deutschland wird diese Schaltung mit der von Oberpostrat Schwensky angegebenen Abzweigspule mit vier Wickelungen (Kombinationschaltung) mit gutem Erfolg angewandt.

Man kann aus 2, 3 und 4 Doppelleitungen 3, 5 und 7 Sprechstromkreise gewinnen. In England werden besondere Mehrfachzwillingskabel hergestellt, die durch entsprechende Verseilung zum Mehrfachfernsprechen besonders eingerichtet sind (Dieselhorst - Martinverfahren).

Abbildung 28. Verbindungstisch eines halbautomatischen Fernsprechamts (A.-G. Siemens & Halske, Berlin).

Die jüngsten Fortschritte auf dem Gebiete des Fernsprechwesens sind besonders darin zu erblicken, daß sorgfältige theoretische Arbeiten einen klaren Einblick in die verwickelten physikalischen Vorgänge der Fernsprechstromkreise geschaffen haben. Damit ist es möglich geworden, die zur Verbesserung von Apparaten und Leitungen notwendigen Richtlinien zu erkennen. Namentlich kam es hierbei auf eine Steigerung der Reichweite an, denn auf näheren Entfernungen entsprach die Fernsprechübertragung seit langem vollkommen dem Bedürfnis, obwohl sie auch hier mit einem erstaunlich geringen Nutzeffekt arbeitet. Nach einer Berechnung von Professor Breisig ergab sich z. B. bei einer befriedigenden Fernsprechübertragung auf einer 600 km langen 4 mm-Bronzeleitung ein elektrischer Gesamtwirkungsgrad von noch nicht zwei tausendstel, wovon auf die Leitung etwa zwei hundertstel und auf die Apparate etwa sieben hundertstel entfielen. Da es unser Ohr nicht merken würde, wenn das Ergebnis noch zehnmal schlechter wäre, so ersieht man daraus, daß es bei der Fernsprechübertragung nicht auf einen guten Nutzeffekt ankommt, sondern darauf, daß man im Empfänger eine Leistung erhält, welche die Membran des Fernhörers noch erregen kann. Für die Größe der Endleistung sind bei gegebener Anfangsspannung bestimmend: der Ohmsche Widerstand, die Kapazität, die Ableitung und die Selbstinduktion der Leitung. Die drei erstgenannten wirken dämpfend auf die Schwingungsweiten der wellenförmigen Sprechströme und zwar wächst die Dämpfung mit der Frequenz der letzteren. Die Obertöne, die den Vokalen den Klang geben, und die hohen Töne der Zischlaute werden daher zuerst ausgeschieden, so daß die Sprache bei wachsender Dämpfung immer mehr an Klangfarbe einbüßt. Zur Verringerung

des Ohmschen Widerstandes wählt man zum Fernsprechen Hartkupfer- oder Bronzedraht bis zu 5 mm Durchmesser. Dem schädlichen Einflusse der Kapazität wirkt die Selbstinduktion entgegen, indem sie der Energie, die während der Stromwechsel aus dem elektrischen Felde der Kapazität zurücktritt, die Möglichkeit gibt, in das nahegelegene magnetische Feld der Selbstinduktion überzutreten, während bei einer Leitung ohne Selbstinduktion die Energie für die Kapazität den Weg zur Stromquelle hin und her zurücklegen muß. Je kleiner also Widerstand, Kapazität und Ableitung und je größer die Selbstinduktion, desto geringer ist die Dämpfung und desto günstiger die Fernsprechübertragung. Die elektrischen Werte einer Fernsprechleitung faßt man in einen Begriff zusammen, den man Dämpfungskonstante nennt und mit β bezeichnet. Diese Konstante wird, da sie mit der Frequenz der Sprechströme wächst, für die mittlere Frequenz 5000 angegeben. Wird die Zahl β mit der Zahl der Kilometer der Leitung (l) vervielfältigt, so erhält man den Dämpfungsexponenten βl, der einen Maßstab für die Verständigung auf der Leitung und zugleich für die Reichweite bietet. Auf oberirdischen Fernleitungen ist einschließlich des Amtes und der Anschlußleitungen die Verständigung bei $\beta l = 2{,}5$ sehr gut und bei 4,8 noch eben ausreichend. Da bei einer Leitung von 5 mm Durchmesser β angenähert $= 0{,}002$ ist, so könnte in einer solchen Leitung auf $2{,}5 : 0{,}002 = 1250$ km noch mit gutem Erfolge gesprochen werden. In der Tat sind die heutigen gewöhnlichen Freileitungen nicht viel länger. Die längsten gewöhnlichen Fernleitungen besitzen die Vereinigten Staaten in den Linien Boston—Chicago (1920 km) und New York—Chicago (1520 km).

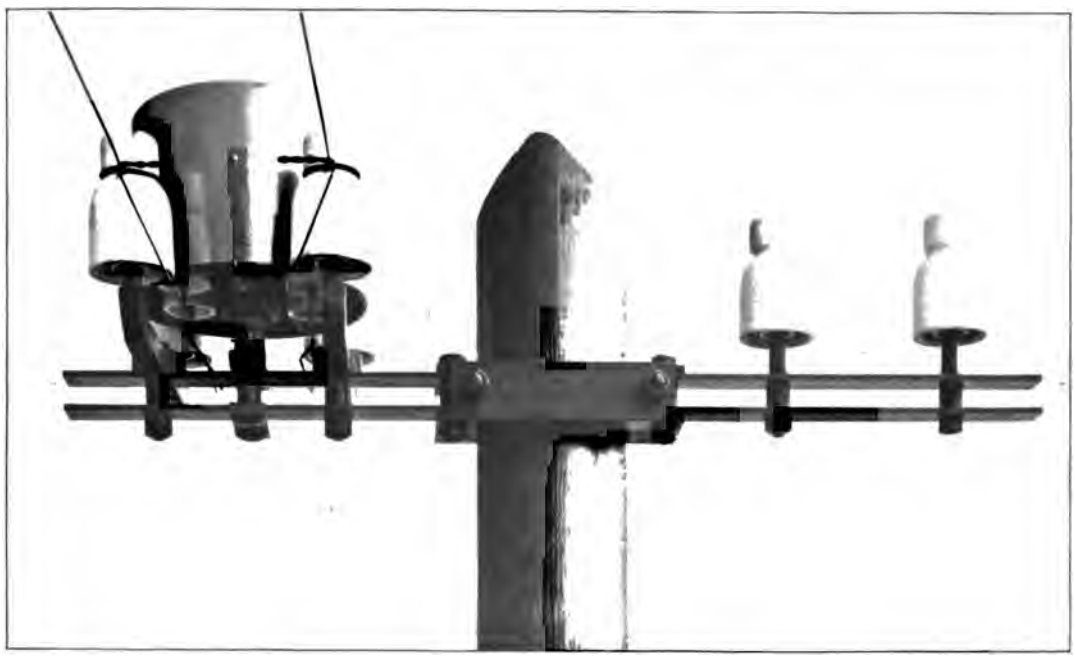


Abbildung 29. Pupinspulen in oberirdischen Fernsprechleitungen.

Unter den europäischen Linien ist die längste die von Berlin nach Paris (1192 km) und unter den deutschen die Linie Berlin—Memel (944 km). Bei langen Fernsprechkabeln würde ein $\beta l = 3{,}5$ bis 4 genügen, da man im Kabelbetriebe wegen des Fehlens von Nebengeräuschen eine geringere Lautstärke in Kauf nehmen kann.

Einen so kleinen Dämpfungsexponenten kann man jedoch mit dem gewöhnlichen Kabelbau wegen der bei Kabeln gegenüber den oberirdischen Leitungen zehnmal größeren Kapazität nicht erreichen.

Um die Reichweiten zu steigern, bietet sich hier neben einer Verbesserung der Fernsprechapparate der Weg, die Dämpfung der Leitung durch künstliche Vergrößerung der Selbstinduktion zu verringern. Dieses geschieht auf zweifache Weise. Bei dem einen, vom dänischen Ingenieur Krarup (1901) praktisch ausgestalteten Verfahren wird der Kupferleiter der Kabel mit feinem weichen Eisendraht in möglichst engen Spiralen und in mehreren Lagen umsponnen (stetige Belastung). Durch dieses verhältnismäßig leicht anzuwendende Verfahren kann die Reichweite etwa verdoppelt werden, während gleichzeitig die Preiserhöhung nur etwa 10 bis 15 v. H. beträgt. Das Krarupverfahren hat jedoch den Nachteil, daß mit der Zunahme der Induktivität auch die Kapazität, allerdings in weit geringerem Maße, wächst und sich der wirksame Widerstand infolge der Wirbelströme im Eisen und anderer Verluste mit der Periodenzahl stark verändert. Die Vorteile des Verfahrens kommen daher im allgemeinen bei kürzeren Kabeln mit geringer Aderzahl am besten zur Geltung. Das andere, von Heaviside angegebene und von Pupin 1900 theoretisch und praktisch ausgebildete Verfahren besteht darin, Selbstinduktionsspulen in gleichen Abständen in die Leitung einzuschalten (stellenweise Belastung). Die Spulen sind bei oberirdischen Leitungen zusammen mit Blitzableitern in Metallgehäuse eingeschlossen, die auf besonderen Konsolen am Gestänge sitzen (Abbildung 29). Bei unterirdischen Kabeln werden sie in besonderen Spulenkästen (Abbildung 30) oder Spulenhäuschen untergebracht und bei Seekabeln mit in das Kabel aufgenommen. In jeden Leitungszweig wird eine Spule geschaltet, wobei die beiden Spulen einer Doppelleitung auf einem gemeinsamen ringförmigen Kerne zu einer Doppelspule vereinigt sind. Durch das Einschalten der Spulen wird die Reichweite von Kabeldoppelleitungen je nach der Größe des Leiterdurchmessers auf das Doppelte bis Fünffache gebracht. Bei einem 3 mm-Leiter kann z. B. auf 1000 km eine ausreichende Sprechverständigung erzielt werden. Auch bei oberirdischen Leitungen ist das Verfahren mit Erfolg angewandt worden und zwar wird bei Freileitungen mittleren Durchmessers (3 bis 4 mm) die Reichweite durch Pupinisieren ungefähr verdoppelt. Hierdurch sind Ersparnisse bis zu 60 v. H. erreicht worden. Am weitesten verbreitet ist das Pupinsystem in Amerika, wo 136000 km pupinisierte Freileitungen und 273000 km pupinisierte Kabelleitungen im Betriebe sind. Die längste oberirdische Pupinleitung ist darunter die von der American Telephone and Telegraph Co. hergestellte Verbindung zwischen New York und Denver (rund 3400 km), und die längsten unterirdischen Pupinlinien sind die Luftraumkabel derselben Gesellschaft zwischen New York und Washington (375 km) sowie New York und Boston (380 km). Auch in Europa sind in verschiedenen Staaten Pupinleitungen (zusammen etwa 10000 km) und Pupinkabel (rund 1500 km mit über

Abbildung 30. Pupinspulen-Kasten für unterirdische Fernsprechkabel.

60000 km Doppelleitungen) vorhanden, die sämtlich von der A.-G. Siemens & Halske, welche die Pupinpatente für den europäischen Kontinent erworben hat, pupinisiert sind. Erwähnt seien die oberirdischen Leitungen Berlin—Aachen (700 km), Berlin—Frankfurt a. M. (580 km), Wien—Innsbruck (570 km) und die Kabel Dortmund—Essen—Ruhrort mit 100—200 Aderpaaren (60 km), Berlin—Potsdam mit 100 Aderpaaren (32,5 km) und Düsseldorf—Elberfeld mit 28 Aderpaaren (32,5 km). Eine 1400 km lange oberirdische Pupinleitung Berlin—Mailand, die später bis Rom (2000 km) verlängert werden soll, befindet sich im Bau. Die bisher erzielten günstigen Ergebnisse haben die deutsche Reichs-Telegraphenverwaltung bewogen, mit der Herstellung eines unterirdischen Fernkabelnetzes für den Sprechverkehr durch Legung eines 150 km langen Pupinkabels zwischen Berlin und Magdeburg demnächst zu beginnen, das später bis zum Rhein (Cöln) auf über 600 km verlängert werden soll.

Ein besonderer Fortschritt von weittragender Bedeutung hat sich durch die künstliche Belastung mit Selbstinduktion bei den Fernsprechseekabeln ergeben. Da der Einbau von Selbstinduktionsspulen in Seekabel anfangs auf große Schwierigkeiten stieß, wandte man zunächst ausschließlich das Krarupverfahren an. So sind z. B. die Papierkabel Cuxhaven—Helgoland (75,2 km) und Greetsiel—Borkum (29,5 km) sowie das Guttaperchakabel Helsingborg—Helsingör nach diesem Verfahren gebaut. Das erste mit Selbstinduktionsspulen ausgerüstete Fernsprechseekabel (mit Papierisolation) wurde 1906 von der A.-G. Siemens & Halske durch den Bodensee verlegt (12 km); ihm folgte 1910 das erste längere Fernsprechseekabel für zwei Doppelleitungen (mit Guttaperchaisolation) zwischen England und Frankreich (37,1 km). Das letztere Kabel wurde auf Kosten der englischen Regierung durch Siemens Brothers & Co. verlegt und gestattet eine Fernsprechverbindung zwischen London, Genf und Genua sowie zwischen Paris, Edinburg und Aberdeen. Neuerdings ist auch ein Krarupkabel (ebenfalls mit Guttaperchaisolation) auf derselben Strecke auf Kosten der französischen Regierung durch die Telegraph Construction and Maintenance Co. mit bestem Erfolg ausgelegt worden. Mit Belgien ist England 1911 durch ein 88,8 km langes, mit Guttapercha isoliertes Pupinseekabel verbunden, dessen beide Doppelleitungen durch Einbau besonderer Belastungsspulen zum Mehrfachsprechen eingerichtet sind. Der Legung eines etwa 450 km langen Fernsprechkabels zwischen Deutschland und England stehen wegen der selbst bei Pupinleitungen auf so große Entfernungen vorhandenen Dämpfung noch große technische Schwierigkeiten entgegen. Man kann danach ermessen, daß eine Fernsprechverbindung zwischen Europa und Amerika durch ein Ozeankabel nach dem heutigen Stande der Technik unmöglich ist. Aber selbst wenn es anders wäre, dürfte wegen der Kosten (ein Fernsprechkabel von Emden nach New York würde über 40 Millionen Mark kosten) und wegen des Zeitunterschieds zwischen den beiden Erdteilen eine Rentabilität als ausgeschlossen gelten.

5. DAS FERNSPRECHEN OHNE LEITUNG (DRAHTLOSE TELEPHONIE)

Die drahtlose Telephonie steht heute noch immer auf der ersten Stufe ihrer Entwickelung und hat für den allgemeinen Verkehr eine praktische Bedeutung noch nicht erlangt. Trotzdem sind ihre Erfolge schon sehr beachtenswert. Die ersten praktisch brauchbaren Ergebnisse des Versuchs, die Sprache drahtlos in weite Ferne zu übertragen, sind von Professor Simon (Göttingen) und Graham Bell mit der Lichttelephonie erzielt worden. Diese ist jedoch wegen der großen Streuung des Lichtkegels und der geradlinigen, sich an die Erdkrümmung

nicht anpassenden Fortpflanzung der Lichtwellen nur auf beschränkte Entfernungen (15 km) anwendbar. Eine bessere Aussicht bot die Benutzung der elektrischen Wellen. Die Funkenmethode kam jedoch hierbei nicht in Betracht, da die stoßweise erfolgenden Funkenentladungen eine Verständigung unmöglich machen würden. Zur drahtlosen Telephonie verwendet man daher ausschließlich ununterbrochene ungedämpfte Schwingungen, wie sie durch Hochfrequenzmaschinen oder den elektrischen Lichtbogen gewonnen werden. Dabei benutzt man im übrigen dieselben Anordnungen wie bei der drahtlosen Telegraphie. Der Unterschied besteht nur darin, daß bei der drahtlosen Telephonie statt einer Taste ein Starkstrommikrophon eingeschaltet wird, mit dessen Hilfe den ungedämpften Schwingungen die akustischen Schwingungen überlagert werden. Die in ihren Schwingungsweiten veränderten Wellen werden durch eine Antenne in den Raum ausgestrahlt, am Empfangsorte von einer Antenne aufgefangen und durch einen Detektor einem Fernhörer zugeführt, der sie wieder in Schallwellen umsetzt. Die Mehrzahl der heutigen Systeme bevorzugt zur Erzeugung der Schnellschwingungen den Poulsenschen Lichtbogen, der durch hochgespannten Gleichstrom gespeist wird. So in erster Linie das Poulsen-Lorenzsystem, dessen Lichtbogensender auf Seite 335 (Abbildung 13) beschrieben wurde. Die Kupferelektrode wird dabei durch fließendes Wasser gekühlt und die Wasserstoffatmosphäre durch eintropfenden und verdampfenden Spiritus gebildet. Telefunken verwandte 1907 in einer von Poulsen abweichenden Anordnung Reihenlichtbogen aus sechs oder zwölf hintereinandergeschalteten Einzellichtbogen (Abbildung 31), wobei auf jeden Lichtbogen nur ein kleiner Teil der Wärme entfällt und eine besondere Kühlung durch eine Wasserstoffatmosphäre entbehrlich ist. Die obere positive Elektrode besteht aus einem mit Wasser gefüllten Metallrohr, in dessen gewölbten Kupferboden die untere Kohlenelektrode hineinragt. Die G. m. b. H. Dr. Erich Huth (Berlin) läßt den Lichtbogen zwischen zwei röhrenförmigen Kohlenelektroden brennen. Die obere Elektrode reicht dabei in die untere hinein, die mit Spiritusdampf umgeben ist. Der Lichtbogen wird durch ein elektromagnetisches Feld dauernd in Bewegung gehalten. Auf größere Entfernungen werden mehrere Lichtbogen zusammengeschaltet. Einen Poulsenlichtbogen verwenden noch Fessenden, De Forest, die beiden französischen Marineoffiziere

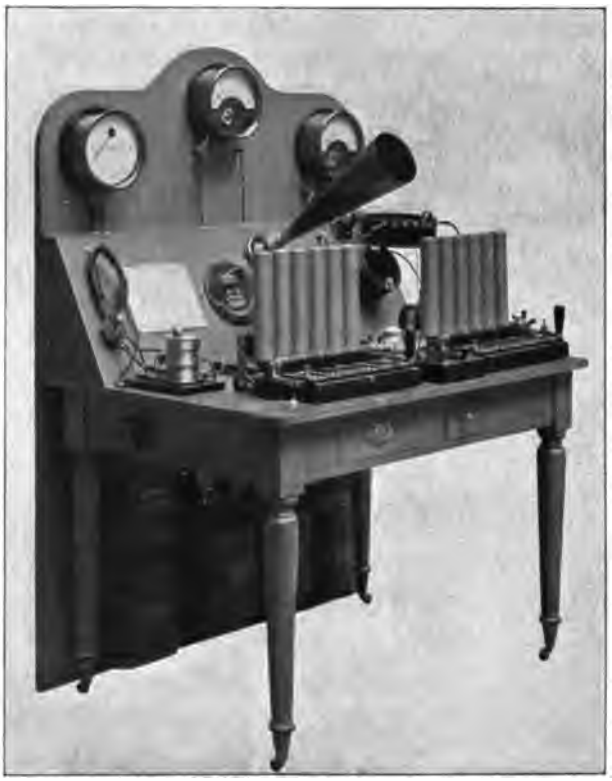


Abbildung 31. Station für drahtlose Telephonie zum Sprechen und Hören (1907). (System Telefunken.)
Auf dem Tische rechts in 2 Reihen je 6 Lichtbogen in Reihenschaltung zum Senden, links der Detektor mit Hörer zum Empfangen. An der Rückwand rechts der Sendetransformator, in der Mitte das Mikrophon mit Sprechtrichter, links Steckkontakte für die Selbstinduktionsspulen des Senders, oben Meßinstrumente.

Colin und Jeance, der Italiener Majorana sowie der Amerikaner Collins. Das gebende Mikrophon wird in der Regel unmittelbar in die Antenne geschaltet. Je größer dabei die Änderung der Hochfrequenzwellen ist, desto besser gelingt die Sprachübertragung. Die Herstellung eines geeigneten Mikrophons, das eine dauernde Belastung mit mehr als einigen Ampere verträgt, ist indessen bis jetzt nicht gelungen. Einen großen Fortschritt bedeutet immerhin das Flüssigkeitsmikrophon des Professors Majorana, das aus einer kleinen Glasröhre besteht, aus der unter einem gewissen Drucke ein Strahl von angesäuertem Wasser fließt. Die Schwankungen einer Membran übertragen sich durch eine elastische Wandung auf den ausfließenden Strahl, der sich den Schwingungen entsprechend mit wechselndem Abstande von der Ausflußöffnung in Tropfen auflöst. Die Tropfen verbinden zwei voneinander isolierte Platinelektroden den Schwingungen der Membran entsprechend mit einer mehr oder weniger großen Flüssigkeitsmenge und verändern so den das Mikrophon bildenden Widerstand der Brücke. Als Wellenanzeiger dienen die integrierenden Detektoren in einem aperiodischen Empfangskreise. Die mit der drahtlosen Telephonie in betriebssicherer Weise erzielten Reichweiten sind im Vergleiche zu denen der drahtlosen Telegraphie nicht hoch, da sie Entfernungen von 50 km nur in Ausnahmefällen überschreiten. Dieses liegt an dem Fehlen eines geeigneten Mikrophons und an dem ungünstigen Wirkungsgrade des Flammenbogens. Mit derselben Primärenergie kann man drahtlos drei- bis viermal so weit telegraphieren wie telephonieren. Immerhin sind voraussichtlich von der drahtlosen Telephonie namentlich für den näheren Nachrichtenverkehr von Schiffstationen noch bedeutende, heute wohl kaum zu übersehende Fortschritte zu erwarten. Werden die jetzt noch vorhandenen Schwierigkeiten überwunden, so wird sie sich auch auf weitere Entfernungen als Ersatz für längere Landlinien und Kabel wohl geeignet erweisen. Vielleicht beschert uns dann die drahtlose Telephonie auch die auf andere Weise kaum zu erreichende Ozeantelephonie.

GRAPHIK

VON A. MIETHE

Die graphische Industrie kann sich zwar weder ihrem Umfang nach noch nach dem Wert der von ihr umgesetzten Summen mit den großen Industrien messen, sie ist aber trotzdem für die menschliche Kultur einer der wichtigsten Faktoren. Wenn sie auch nur wenige Zehntausend von Menschen ernährt, so bildet sie doch eine der Grundlagen des geistigen Verkehrs, und zwar vielleicht die bedeutungsvollste. Wie man mit Recht von der Erfindung der Buchdruckerkunst eine neue Epoche der westeuropäischen Kultur datiert, so kann man mit gleichem Recht sagen, daß die Entwicklung der Graphik auch noch heute in so unmittelbarem Zusammenhang mit dem Fortschritt der Menschheit steht und sogar als Maß der Kultur angesehen werden kann, daß man den Grad der Bildung eines Volkes an seinem Anteil ermessen kann, den es an der Herstellung graphischer Erzeugnisse und ihrem Verbrauch nimmt. Der beschränkte Umfang unseres Werkes erlaubt es nicht, das gesamte Gebiet der Graphik eingehend in seiner modernen Ausgestaltung zu überblicken. Der äußerlich bedeutungsvollste Teil desselben, die Herstellung der Schriftwerke, muß wesentlich unerörtert bleiben, um Platz für die technisch so überaus interessanten und doch der großen Masse der Gebildeten verhältnismäßig fernliegenden Gebiete der Reproduktionstechnik zu gewinnen.

Von der ursprünglichen Technik des Buchdrucks bis zu seiner heutigen Ausgestaltung führt ein Weg, weiter und umwegsreicher, als er sonst wohl auf technischem Gebiete zurückgelegt worden ist. Auch hier zeigt sich jene progressive Schnelligkeit der Entwicklung, wie wir sie auf anderen Gebieten der Technik seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts feststellen können. War seit der Erfindung der Buchdruckerkunst bis in den Anfang des vorigen Jahrhunderts der Fortschritt der Technik ein verhältnismäßig langsamer, dem geringen Bedürfnis in quantitativer und qualitativer Hinsicht entsprechender, so beginnt in der neuesten Zeit jene gewaltsame, sich fast überstürzende, durch bahnbrechende Erfindungen gekennzeichnete Hochflut technischer Errungenschaften auf diesem Gebiete, die das moderne graphische Gewerbe geschaffen hat. Die Etappen auf diesem Siegeslaufe der Graphik sind die Einführung der Schnellpresse, die Erfindung der Rotationspresse und die ausgiebige Benutzung der Stereotypie und der Setzmaschinen. Auf diese überaus interessante Entwicklung einzugehen verbietet uns, wie gesagt, der Umfang dieses Werkes.

Die alte Illustrationstechnik, die im Abendlande in ihren Uranfängen bis in das 15. Jahrhundert zurückdatiert, arbeitete mit überaus einfachen Mitteln. Nur zwei Methoden der Herstellung von Illustrationen mit Hilfe der Presse waren bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts bekannt. Der altehrwürdige Holzschnitt, der, älter als der Buchdruck selbst, in seinen Wurzeln als Vorläufer desselben betrachtet werden kann, und der Kupferstich, der, mit dem Buchdruck etwa gleichzeitig geboren, niemals für die Großgraphik eine besondere Bedeutung gewonnen hat. Dann trat im 19. Jahrhundert ein neues Prinzip der Drucktechnik auf, die Lithographie oder der Flachdruck. Senefelders epochemachende Entdeckung dieses Verfahrens wurde mittelbar der An-

stoß einer frischeren Entwicklung der graphischen Technik, und mit ihm stehen in deutlich erkennbarem Zusammenhang die ersten Erzeugnisse, die Inkunabeln des sogenannten photomechanischen Druckes, der heute die alten Verfahren der manuellen Illustrationstechnik fast vollkommen in Vergessenheit gebracht hat.

Durch das Aufblühen der photomechanischen Reproduktionstechnik ist eine neue Epoche der Graphik erstanden; eine Epoche, die nach gewissen Richtungen hin nicht mit Unrecht als von gleicher Bedeutung wie die Erfindung des Buchdrucks angesehen werden kann, denn die photomechanische Reproduktionstechnik ist es, welche in größtem Maßstabe das mechanisch reproduzierte Bild den Erzeugnissen der Presse beigesellt hat, das durch seine Wohlfeilheit, Allgemeinzugänglichkeit, Schmiegsamkeit und Vielfältigkeit ein Kulturmittel von unvergleichlicher Bedeutung geworden ist.

Die photomechanische Reproduktionstechnik ruht auf den Schultern der Photographie. Die Erfindung dieser wichtigen Technik, die schon vor dem Beginn der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts erfolgte, ist aber als solche ebenfalls von so großer kultureller und wissenschaftlicher Bedeutung, daß auch ihr ein vollberechtigter Platz in diesem umfänglich so beschränkten Werke zukommt. Die Bedeutung der Photographie beruht auf mannigfaltigen Grundlagen, und diese zu würdigen wird mehr unsere Aufgabe sein, als die Einzelbesprechung der speziellen technischen Verfahren, die, wie interessant sie auch an sich sein mögen, doch nur Etappen einer fortschreitenden Entwicklung sein können, die sich auf den Schultern der augenblicklich gebräuchlichen Methoden fortdauernd weiterbauen und, das Alte verdrängend, ewig Neues und Besseres an die Stelle des bis dahin Gebräuchlichen setzen.

Wir wollen zunächst einen Augenblick bei der Bedeutung der Photographie als solcher stehenbleiben. Nicht die Möglichkeit der Erzeugung von Lichtbildern an sich ist der Kernpunkt dieser Frage, wohl aber die Eigenart der Photographie selbst. Die Beschränkungen, die der menschlichen Forschung durch die Wirkungsweise der Sinnesorgane gesetzt sind, sind speziell durch die Photographie in überraschender Weise beseitigt worden, und der wichtigste Sinn des Menschen, das Auge, verdankt ihr eine Erweiterung und Vertiefung der ihm zugänglichen Erscheinungen, die fast unübersehbar ist. Einige Ausführungen in dieser Richtung können wir uns nicht versagen. Das Auge besitzt quantitativ und qualitativ Beschränkungen, die es nicht geeignet machen, die Vorgänge, die sich in der optischen Sphäre abspielen, zu erschöpfen. Gedenken wir zunächst der quantitativen Beschränkungen. Damit ein Gesichtseindruck zustande kommt, ist Licht notwendig, Licht in einer bestimmten Quantität. Bleibt die Lichtmenge unterhalb eines gewissen Wertes, so ist das Auge nicht mehr imstande, einen Sinneseindruck dem Zentralorgan zu übermitteln. Man nennt die untere Grenze für diejenige Lichtmenge, welche noch einen Reizzustand des Auges auslösen kann, den Schwellenwert. Alles was unterhalb des Schwellenwertes bleibt, liegt auch unterhalb der Wahrnehmungsgrenze. Dem Licht gegenüber verhält das Auge sich nicht wie ein summierender Apparat; die Intensität des Lichtes allein, nicht die Dauer der Lichtwirkung ist für den Gesichtseindruck ausschlaggebend. Ganz anders liegt die Sache für die Photographie. Die Photographie vermag das Licht zu summieren. Das sogenannte photochemische Grundgesetz besagt, daß die photographische Wirkung wesentlich proportional einem Produkt aus der Lichtintensität und der Belichtungszeit ist, und aus diesem Satz ergeben sich eine Reihe von überaus interessanten Konsequenzen. Einen Schwellenwert für die Intensität kann daher die Photographie prinzipiell nicht besitzen. Wir können in einem Produkt den einen Faktor beliebig klein nehmen, es wird doch einen endlichen Wert erreichen, wenn

wir dafür den anderen Faktor beliebig wachsen lassen können. Hierdurch folgen zwei wesenhaft verschiedene Möglichkeiten der Photographie, die das Auge nicht besitzt: einmal beliebig schwache Lichteindrücke in entsprechend langen Zeiten wiederzugeben, das andere Mal in beliebig kurzen Zeiten Lichteindrücke von großer Intensität festzuhalten. Die erste Möglichkeit wird in der wissenschaftlichen und technischen Photographie häufig ausgenutzt, und ihr verdankt die Forschung die überraschendsten Resultate. Nur an einem Beispiel mag dies verdeutlicht werden. Greifen wir den markantesten Fall, den der Astronomie, heraus. Hier handelt es sich darum, die summierende Eigenschaft der Photographie im Sinne der langen Zeiten und der kleinen Intensitäten auszunutzen. Die Lichtmenge, die uns ferne Weltkörper zusenden, ist vielfach überaus gering. Mit bloßem Auge erblicken wir wenige Tausende von Sternen am Firmament. Schon ein Fernrohr enthüllt uns die Tatsache, daß neben diesen sichtbaren Sternen eine unvergleichlich viel größere Menge teleskopischer den Weltraum erfüllt. Das Fernrohr ist ein lichtsammelnder Apparat; es führt dem Auge eine Lichtmenge zu, die soviel mal größer als die ist, welche das bloße Auge empfängt, wie die Fläche des Objektivs größer ist als die Pupillenöffnung des Auges, wenigstens gilt dies punktförmigen Lichtquellen gegenüber. Ermöglicht uns daher das Fernrohr die Wahrnehmung von Objekten, die ihrer Lichtschwäche wegen mit bloßem Auge niemals wahrgenommen werden könnten, so wird doch die Grenze der Wahrnehmbar-

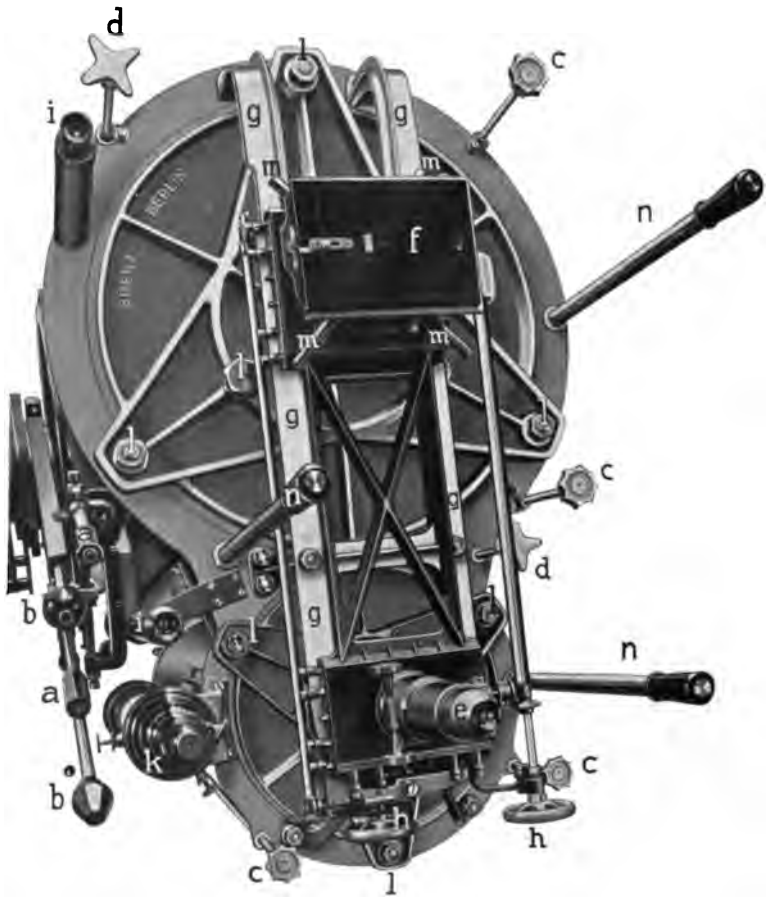


Abbildung 1. Kassettenende eines modernen photographischen Reflektors (Photographische Sternwarte der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin; Doppelspiegelinstrument von C. P. Goerz A.-G., Friedenau, mit Spiegeln von Goerz-Schmidt von 30 und 50 cm Durchmesser und 1,8 bzw. 3 m Brennweite).

aa	Feinbewegungen
bb	Klemmen
ccc	Justierschrauben für die Fangspiegel
dd	Einstellvorrichtung für die Fangspiegel
e	Okular des Leitfernrohrs
f	Kassette des photographischen Fernrohrs
ggg	Schlitten zur gemeinsamen Verschiebung von Okular und Kassette in den beiden Hauptkoordinaten.
hh	Feinverstellung in den beiden Hauptkoordinaten an der Schlittenführung
ii	Ablesefernrohre für den Deklinationskreis
k	Sucher
lll	Zentrierschrauben für die Objektivspiegel
mmm	Feinbewegung für die Fokussierung der Kassette
nnn	Handhaben für die Grobbewegung des Gesamtinstrumentes.

keit durch das Fernrohr praktisch nur bis zu einem gewissen Ziel hinausschiebbar, und zwar wird diese Grenze dadurch vorgeschrieben, daß die Dimensionen der Fernrohre technischen Beschränkungen unterliegen und daß, selbst wenn diese nicht vorhanden wären, aus rein inneren Gründen eine Vergrößerung ihrer Dimensionen schließlich doch begrenzt wäre. Der Grund, warum das Fernrohr nur verhältnismäßig wenig weit hinausführen kann über das, was das Auge leistet, liegt darin, daß das wahrnehmende Organ, welches mit dem Fernrohr verbunden ist, nicht die Eigentümlichkeit hat, schwache Lichteindrücke zu summieren, und erst in Verbindung der photographischen Platte mit dem Fernrohre liegt die prinzipiell fast unbegrenzte Möglichkeit der Darstellung kleinster und lichtschwächster Gestirne, da wir die beliebig geringe Intensität derselben in einer nur durch praktische Erwägungen begrenzten Weise mit beliebig langen Wirkungszeiten multiplizieren können. Wir haben hier also einen Fall vor uns, in welchem die Photographie uns Dinge enthüllen kann, die dem Auge ohne ihre Mitwirkung stets verborgen geblieben wären. Diesen rein theoretischen Betrachtungen entsprechend sind die Erfolge der Photographie auf diesem Gebiete bedeutungsvoll. Ohne hier auf Einzelheiten einzugehen, kann man wohl sagen, daß die photographische Forschung auf dem Gebiete der Astronomie eine vollkommen neue Welt erschlossen hat, eine Welt, in die wir eben erst mit staunenden Augen hineinzublicken beginnen.

Abbildung 2. Nebel G. C. 4355. Gezeichnet von Trouvelot nach Anblick in einem großen Fernrohr.

Reihen wir diesem Beispiel, bei welchem auf Kosten des Faktors Zeit der Faktor Lichtintensität verkleinert wurde, ein zweites Beispiel an, welches uns den umgekehrten Fall vor Augen führt, nämlich den Fall, daß auf Kosten der Belichtungszeit die Intensität gesteigert wird. Auch hier mag ein allgemein bekanntes Beispiel zur Erklärung herangezogen werden, der Kinematograph. Ganz abgesehen davon, daß das Auge eine gewisse Intensität zur Aufnahme eines Eindrucks braucht, bedarf es auch einer gewissen Zeit zum Zustandekommen einer Wahrnehmung. Folgen zahlreiche Vorgänge in kürzesten Zeitintervallen aufeinander, so bedingen gewisse physiologische Eigenschaften des Auges die Unmöglichkeit der Wahrnehmbarkeit des Einzelvorgangs. Das Auge ist mit der Eigenschaft der sogenannten Nachwirkung behaftet, eine Eigenschaft, die bewirkt, daß schnellfolgende Eindrücke miteinander zu einem Sammelbild verschmelzen, dessen einzelne Phasen nicht zur Wahrnehmung gelangen. Verläßt beispielsweise ein Geschoß mit einer Geschwindigkeit von mehreren Hundert Meter die Mündung eines Geschützes, so kann es mit bloßem

Auge nicht gesehen werden, aus dem einfachen Grunde, weil seine Lage im Raum so schnell wechselt, daß ein Einzeleindruck nicht zustande kommen kann. Hier greift die Photographie helfend ein. Da wir bei genügender Lichtintensität die Belichtungszeit, theoretisch gesprochen, beliebig herabsetzen können, so können wir die einzelnen Phasen eines seiner Schnelligkeit wegen dem Auge unerkennbaren Vorgangs festhalten. Das fliegende Geschoß zu photographieren macht bei genügender Helligkeit keinerlei Schwierigkeiten, und in der Kinematographie wird diese Möglichkeit der beliebig kurzen Belichtung zur Erzeugung eines Bildes in geschickter Weise kombiniert mit der soeben erwähnten Eigentümlichkeit des menschlichen Auges, schnell aufeinanderfolgende Einzeleindrücke zu einem Mittelbilde zusammenzufassen, welches dem Gesamtverlaufe des Vorgangs in großen Umrissen gerecht wird. Der Kinematograph ist weiter nichts als ein photographischer Apparat, der die Einzelphasen eines Vorgangs in überaus schneller Aufeinanderfolge darstellt, um sie dann in gleicher Schnelligkeit der Aufeinanderfolge auf irgendeine Weise dem Auge wieder vorzuführen.

Abbildung 3. Derselbe Nebel G. C. 4355
nach einer Photographie im Spiegelteleskop des Mount-Wilson-Observatoriums.

So wird es uns einerseits möglich, die Einzelphasen eines beliebig kurz dauernden Vorgangs analytisch zu verfolgen und anderseits aus den Einzelphasen wieder synthetisch den optisch-physiologischen Vorgang zu rekonstruieren. Ja, wir können diese Möglichkeiten noch weiter ausbauen; wir können dem gleichmäßig fortschreitenden Rhythmus der Zeit auf diese Weise Zügel anlegen und ihn trotz des sonst unentrinnbaren Zusammenhangs zwischen Erscheinung und Zeitablauf beherrschen. Ein Beispiel mag auch diesen Vorgang erläutern: Technisch besteht die Möglichkeit, die Belichtungen auf dem Filmband eines Kinematographen fast beliebig schnell aufeinander folgen zu lassen. Die moderne Wissenschaft besitzt kinematographische Apparate, die wenigstens für ganz bestimmte Spezialzwecke Zehntausende von Aufnahmen in der Sekunde herzustellen erlauben. Wenn sich also ein Vorgang beispielsweise im Bruchteil einer Sekunde abspielt, so daß dessen einzelne Phasen sich jeder direkten Wahrnehmung entziehen, so können wir ihn in seinen Einzelheiten kinematographisch verfolgen und den so registrierten Vorgang dann in einer so viel verlängerten Zeit

wieder rekonstruieren, daß die in kürzesten Zeitspannen zusammengedrängten Einzelphasen zur deutlichen Darstellung gelangen. Wir wählen das Beispiel der Feuerwaffe. Die apparative Einrichtung, um den Vorgang bei einem Schuß darzustellen, ist kurz folgende: Durch einen Wechselstromgenerator werden zwischen zwei metallischen Elektroden Funken erzeugt. Jeder Impuls löst einen Funken aus, und wenn wir die Zahl der Impulse in der Zeiteinheit beliebig vergrößern, können wir konstruktiv dahin kommen, viele Tausend Funken in der Sekunde zu erzeugen. Bei der kurzen Dauer des elektrischen Funkens, die nur nach millionstel Sekunden rechnet, verschmelzen diese Funken nicht miteinander. Jeder Funke, dessen Lichtintensität wir durch Wahl der Dimensionen unserer Maschinen in der Hand haben, kann zur Erzeugung einer photographischen Aufnahme dienen, und so gelangen wir dazu, während einer Sekunde mehrere Tausend Aufnahmen hintereinander zu machen. Indem wir jetzt in bekannter Weise diese Aufnahmen in viel längerer Zeit und langsamer hintereinanderfolgend zur Vorführung bringen, wird die Darstellungszeit entsprechend verlängert und die Einzelphasen des Vorgangs zur deutlichsten Wahrnehmung gebracht.

Sehen wir hier die Möglichkeit, die Zeit in dem Sinne zu beherrschen, daß dieselbe gewissermaßen vergrößert und in die Länge gezogen wird, so ergibt sich auch die umgekehrte Möglichkeit der Verkürzung langer Zeitintervalle, um einen wegen seiner Langsamkeit unmerklichen Vorgang uns zeitlich und verstandesmäßig näherzubringen. Auch hier ein Beispiel. Es handelt sich um die Darstellung der Wachstumserscheinungen einer Pflanze. Sie verlaufen so langsam, daß sie sich der Wahrnehmung im gewöhnlichen Sinn entziehen. Wenn wir aber eine wachsende Pflanze derartig photographieren, daß wir auf dem Film alle Stunde oder alle zwei Stunden eine Aufnahme machen und im Laufe von Tagen und Wochen mit dieser Arbeit fortfahren, so gewinnen wir eine Bilderserie, die wir in gewöhnlicher Weise zur Anschauung bringen und damit den zeitlich überaus langsamen Vorgang in einen zeitlich schnell verlaufenden verwandeln können, der uns seine einzelnen Phasen mit aller Deutlichkeit vor Augen führt.

Ein weiteres bedeutungsvolles Gebiet der Photographie liegt in der Richtung der Qualität der durch dieselbe nachweisbaren Erscheinungen. Die Strahlung, die uns zugesandt wird, ist bekanntlich nur zu einem kleinen Teil dem Auge wahrnehmbar. Nur innerhalb eines gewissen Wellenlängenbereichs der schwingenden Elektronen empfinden wir eine Strahlung als Licht. Dieser Wellenlängenbereich ist auf der einen Seite begrenzt durch diejenigen langwelligen Strahlen, welche man gewöhnlich als Wärmestrahlen bezeichnet und die teilweis wenigstens dem sogenannten Wärmesinn unmittelbar bemerkbar werden, anderseits aber durch das Gebiet der unsichtbaren ultravioletten Strahlen, für die der Mensch überhaupt einen Sinn nicht besitzt. Jener Bereich des Ultravioletts ist nun der Photographie unmittelbar zugänglich und erstreckt sich, wie die neuesten Forschungen gezeigt haben, weit über die Grenzen hinaus, die dem Auge erreichbar sind. Die sichtbaren Strahlen umfassen, wenn wir den akustisch leicht verständlichen Begriff der Oktave in die Optik einführen, nur ein solches Intervall, nämlich das Intervall zwischen etwa 800 und 400 millionstel mm. Jenseit dieser letzteren kürzesten wahrnehmbaren Wellen liegt das Gebiet des Ultraviolett, welches sich von 400 millionstel mm bis etwa 100 millionstel mm erstreckt und durch die Photographie uns zugänglich geworden ist. Dies bedeutet in erkenntnistheoretischem Sinn einen überaus großen Fortschritt, weil wir heute wissen, daß sich gerade in diesem Bereich hauptsächlich und besonders deutlich erkennbar die bis jetzt erst teilweis entschleierten Beziehungen zwischen der Emission der strahlenden Energie und der Kon-

stitution der Materie nachweisen lassen. Die neuesten Errungenschaften auf diesem Gebiete weisen sogar weit über die bis dahin erreichte Grenze hinaus, da es gelungen ist, auch die Röntgenstrahlen als einen Wellenvorgang im Äther zu charakterisieren, allerdings mit einer Wellenlänge, die noch weit unter die früher erreichte Grenze herabsteigt, ja fast von anderer Größenordnung ist.

Auf die sonstigen Vorteile der Photographie, die sie zu einem so besonders wichtigen technischen Hilfsmittel auf allen Gebieten der Naturwissenschaft und der menschlichen Erkenntnis überhaupt gemacht haben, mag hier nicht hingewiesen werden; sie sind zu allgemein bekannt. Die Schnelligkeit und Objektivität der Photographie ist eine uns allen bereits selbstverständliche Tatsache geworden.

Die technischen Mittel, mit deren Hilfe die Photographie arbeitet, sind ziemlich komplexer Natur, so daß wir auch heute noch in die innere Mechanik der photographischen Vorgänge weder vom chemischen noch vom physikalischen Standpunkt aus eingedrungen sind; trotzdem sind die photographischen Verfahren so sehr vereinfacht worden, daß ihre Benutzung fast Allgemeingut aller Gebildeten geworden ist.

Die Lichtempfindlichkeit ist eine überaus verbreitete Eigenschaft in der Natur. Zahlreiche Reaktionen werden durch das Licht eingeleitet oder beschleunigt, die Auswahl derjenigen Reaktionen aber, welche technisch bequem verwendbar sind, hat dahin geführt, daß nur ein kleiner Teil der überhaupt bekannten Reaktionen zweckmäßig benutzt wird. Es sind hauptsächlich die Silberverbindungen, deren Lichtempfindlichkeit eine genügend große und auch im übrigen technisch zweckmäßig leitbare ist, und unter den Silbersalzen ist es wieder das Bromsilber, welches in der Photographie die Hauptrolle spielt. Während man früher den Negativ- und den Positivprozeß mit sehr verschieden gearteten Präparaten durchführte, vollzieht sich in der Gegenwart ein Vorgang, dessen Ziel offenbar die Verwendung gleichartigen Materials für den Negativ- und für den Positivprozeß ist. Die Erfindung der Bromsilbertrockenplatte, die in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts gemacht worden ist, hat allmählich aus der Mehrzahl der photographischen Gebiete alle übrigen Prozesse verdrängt. Bei der großen Wichtigkeit des Trockenplattenprozesses mag seiner wenigstens in aller Kürze gedacht werden. Das Ausgangsmaterial zur Herstellung der photographischen Trockenplatte ist eine sogenannte Bromsilbergelatineemulsion, deren merkwürdige Eigenschaften sie in bezug auf Empfindlichkeit an die Spitze aller photographischen Präparate setzen. Die Erzeugung dieser Emulsion ist heutzutage Gegenstand technischen Großbetriebes, verbunden fast in allen Fällen mit der Fertigstellung direkt benutzbarer, fast unbegrenzt haltbarer und überaus hochempfindlicher photographischer Platten. Die Fabrikation der Bromsilbergelatineemulsion ist technisch prinzipiell überaus einfach, die Erreichung aber eines ganz bestimmten, besonders in bezug auf die Empfindlichkeit und Gleichmäßigkeit zureichenden Materials an das Innehalten oft scheinbar minutiöser Versuchsbedingungen gebunden; nur im Großbetrieb gelingt es, ein stets gleichmäßiges, den Wünschen des Verbrauchers gerecht werdendes Produkt zu fabrizieren. Der ganze Prozeß läuft darauf hinaus, in einer wässerigen Gelatinelösung Bromsilber zu erzeugen, indem man der Gelatinelösung ein passendes Bromsalz zusetzt, z. B. Bromkalium, und dieses dann durch äquivalente Mengen hinzugefügten Silbernitrates zersetzt. Das entstehende, zunächst fein verteilte und verhältnismäßig sehr unempfindliche Bromsilber hält sich in Suspension in der Lösung des Kolloids, und die Weiterführung des Prozesses besteht darin, daß man durch den Vorgang der sogenannten Reifung diesem Bromsilber die erwünschte bzw. höchst erreichbare Empfindlichkeit gibt. Der Reifungsvorgang wird heute fast allgemein

dadurch eingeleitet und durchgeführt, daß man bei Gegenwart von Ammoniak die fertiggebildete Bromsilberemulsion längere Zeit bestimmten höheren Temperaturen aussetzt, wobei das Bromsilber durch Umkristallisation der einzelnen Körnchen und Zusammenballung zu größeren Kristallen und Kristallgruppen allmählich an Empfindlichkeit zunimmt. Bis zu welcher Höhe dieser Reifungsprozeß getrieben werden kann, ohne die Eigenschaften des Bromsilbers in unerwünschtem Sinne zu beeinflussen, hängt von zahlreichen Maßregeln, die richtig getroffen werden müssen, ab. Das entstandene Produkt muß nun durch einen Waschprozeß von den löslichen, bei der Einwirkung der Bromsalze auf das Silbernitrat entstandenen Produkten gereinigt werden und wird dann unmittelbar auf sogenannten Gießmaschinen auf das Unterlagsmaterial — Glas, Zelluloid, Papier — gleichmäßig aufgetragen.

Der Weltverbrauch an photographischen Trockenplatten aller Art ist ein überaus großer; er läßt sich leider auch nicht annäherungsweise genau schätzen. Man wird aber nicht fehlgehen, wenn man den Wert der Jahresproduktion in den Kulturländern auf 60—80 Millionen Mark veranschlagt, eine Summe, die in jedem Fall nicht zu hoch gegriffen ist.

Eine besondere, für die technische Verwendung wenig erwünschte Eigenschaft des Bromsilbers, sowie der meisten anderen hochempfindlichen photochemischen Substanzen ist die, daß dieselben wesentlich für das stärker brechbare Licht empfindlich sind. Bromsilber speziell ist hauptsächlich für blaues, violettes und ultraviolettes Licht empfindlich, und die optisch hellen Farben Grün, Gelb, Orange und Rot wirken nicht oder nur spurenweis auf gewöhnliches Bromsilber ein. Diese Tatsache wird bei der praktischen Verwendung der Photographie unangenehm bemerkbar, wenn auch nicht in dem Grade, wie man es nach Feststellung derselben annehmen sollte. In der Natur sind reine Farben im allgemeinen überhaupt nicht vorhanden, selbst die gesättigsten Nuancen sind immer Mischfarben, und so kommt es, daß die ungenügende Farbenempfindlichkeit der photographischen Präparate nicht unter allen Umständen störend empfunden wird. Handelt es sich aber um die tonrichtige Wiedergabe stark farbiger Gegenstände, so wird die gewöhnliche photographische Platte stets versagen. Hier konnte erst eine Entdeckung Abhilfe schaffen, die, rein empirisch gemacht, auch heute noch nicht innerlich vollkommen verständlich ist, die Entdeckung der sogenannten Sensibilisierung durch H. W. Vogel. Unter Sensibilisierung versteht man die Veränderung einer photographischen Platte in dem Sinne, daß sie abgesehen von der ihr von Natur innewohnenden Blauviolettempfindlichkeit auch für andere Farben mehr oder minder stark empfindlich wird. Die einzige Methode, die wir auch noch heute besitzen, um diesen Zweck zu erreichen, ist die Inkorporierung kleiner Mengen gewisser Farbstoffe entweder in die fertige Platte oder ein Zusatz solcher Farbstoffe zur reifenden Emulsion. Einige Worte mögen wenigstens ein gewisses Verständnis für diesen Vorgang wecken. Selbstverständlich kann nur dasjenige Licht photographisch wirksam sein, welches von dem betreffenden lichtempfindlichen Präparat absorbiert wird, denn die Lichtempfindlichkeit eines Präparats ist ja nichts anderes als die Umwandlung der Lichtenergie in chemische Arbeit. Die lichtempfindlichen Silbersalze absorbieren nun wesentlich blaues und violettes Licht. Fügt man ihnen passende Farbstoffe zu, die beispielsweise grünes, gelbes oder rotes Licht absorbieren, so wird in diesem Fall ihr Absorptionsvorgang in dem Sinne beeinflußt, daß das Bromsilber auch für die von dem Farbstoff absorbierten Strahlen lichtempfindlich wird. Die notwendige Vorbedingung für diese Vorgänge bleibt natürlich, daß der Farbstoff mit Bromsilber löslich ist oder, wie der Techniker sagt, das Bromsilber anfärbt.

Merkwürdig ist nun, daß die Eigenschaft der Sensibilisierung nicht nur nicht allen Farbstoffen anhaftet, sondern in einigermaßen erheblichem Umfange nur bei einer sehr kleinen Anzahl von Farbstoffen nachgewiesen werden kann. Trotzdem wir heute über Tausende künstlicher und natürlicher Farbstoffe verfügen, kennen wir doch nur ganz wenige Farbstoffgruppen, die merklich, und noch weniger, die intensiv sensibilisieren.

Früher vermochte man eine Bromsilberplatte im allgemeinen nur für einen kleinen Farbenbezirk zu sensibilisieren, erst das neue Jahrhundert hat Farbstoffe kennen gelehrt, die in mehr oder minder vollkommenem Grade die photographische Platte für das gesamte sichtbare Spektrum empfindlich machen.

Gelingt es uns durch die Verwendung farbenempfindlicher Platten, die Tonwerte des Schwarzweißbildes richtiger zu gestalten und die Helligkeiten der einzelnen gefärbten Gegenstände im Verhältnis zueinander korrekter wiederzugeben, so liegt — und das ist viel wichtiger — in der Möglichkeit der Sensibilisierung auch der Schlüssel der neuesten Entwicklung der Photographie, der Farbenphotographie. Prinzipiell ist die Möglichkeit der Farbenphotographie schon von Maxwell in der Mitte des vorigen Jahrhunderts richtig erkannt worden; aber die technische Ausbildung der von ihm angegebenen Methode in dem Sinne, daß der praktischen Photographie die Farbe wirklich gegeben wurde, hat doch unendliche Schwierigkeiten gemacht, und die Lösung des Problems ist bis heute immer nur in gewissem, sehr beschränktem Umfange möglich geworden.

Das Problem der Farbenphotographie läßt sich von ganz verschiedenen Seiten aus angreifen; häufig unterscheidet man direkte und indirekte Methoden derselben. Die Unterscheidung hält aber einer genaueren Kritik nicht stand. Man tut besser, physikalische und physiologische Methoden zu unterscheiden. Die physikalischen Methoden der Farbenphotographie, die technisch keinerlei Wichtigkeit besitzen, jedenfalls bis heute nicht erringen konnten, sind auf zwei verschiedene Typen zurückzuführen, das sogenannte Lippmannverfahren und das Ausbleichverfahren. Beide Verfahren liefern direkt farbige Bilder. Beim Lippmannverfahren entstehen dieselben durch einen rein physikalischen Prozeß, den hier zu verfolgen zu weit führen würde, um so mehr, als das Verfahren heute als technisch tatsächlich unbrauchbar bereits bekannt ist. Das Ausbleichverfahren dagegen arbeitet nach ganz anderen Prinzipien, und seine endliche Einführung in die Praxis ist zwar heute noch nicht erfolgt, die Möglichkeit einer solchen kann aber nicht bestritten werden. Das Ausbleichverfahren beruht auf dem vorhin schon angeführten Prinzip des Gebundenseins der photochemischen Wirkung an die Absorption. Wenn wir einen lichtunechten Farbstoff dem Licht aussetzen, so kann sein Ausbleichen nur dann erfolgen, wenn er von Licht bestrahlt wird, welches er absorbieren kann. Ein roter Farbstoff wird daher bei grünem Licht, ein blauer bei gelbem Licht, ein grüner bei rotblauem Licht ausbleichen. Hierauf beruht die Möglichkeit, ein Gemisch mehrerer Farbstoffe von verschiedener Nuance unter einem durchsichtigen farbigen Original derartig ausbleichen zu lassen, daß das Ausbleichbild die Naturfarben in gewissem Grade wiedergibt.

Überaus viel wichtiger und technisch weiter gefördert sind die physiologischen Methoden der Farbenphotographie. Sie beruhen sämtlich auf der Tatsache, daß zur Herstellung aller denkbaren Farbennuancen die Mischung dreier Grundfarben genügt, eine Tatsache, die schon von Newton erkannt und dann von Helmholtz und König dadurch erklärt wurde, daß sie annahmen, daß das Auge tatsächlich über nur drei verschieden farbenempfindliche Nerven verfügt. Diese Annahme, hauptsächlich gestützt

durch die Befunde an sogenannten Farbenblinden, wird durch die praktische Ausführbarkeit der auf ihr basierten farbenphotographischen Prozesse bestätigt. Wir nennen diese physiologischen Farbenverfahren im allgemeinen Dreifarbenphotographie, können aber das ihr zugrunde liegende Prinzip auf verschiedene Weise praktisch verwerten. Entweder dadurch beispielsweise, daß wir hintereinander oder gleichzeitig auf drei verschiedenen Platten durch grundfarbige Filter Aufnahmen herstellen, die wir dann nach mannigfaltigen Methoden zu einem Farbenbild kombinieren können oder dadurch, daß wir uns mit einer Aufnahme begnügen, wobei die Plattenfläche sich hinter einer eigentümlichen Farbschicht befindet, die die Technik als „Farbraster" bezeichnet. Ein solcher Farbraster besteht aus einer mosaikartigen Anordnung einzelner sehr kleiner durchsichtiger Farbpartikelchen, die in den drei Grundfarben angefärbt regellos miteinander gemischt werden. Nach diesem Prinzip ist beispielsweise das allbekannte Lumièreverfahren ausgebildet worden. Es liefert unmittelbar naturfarbige, durchsichtige Photographien (Diapositive), die, was Farbenwiedergabe anlangt, kaum etwas zu wünschen übriglassen, vorausgesetzt, daß gewisse Vorbedingungen am Original erfüllt sind, die die Verwendung des Prozesses in technischer Beziehung noch gewissen Einschränkungen unterwerfen.

Leider fehlt der Farbenphotographie bis heute noch der Schlußstein, nämlich die Möglichkeit der bequemen und wohlfeilen Herstellung zahlreicher Kopien auf Papier oder einer anderen angemessenen Unterlage. Erst wenn diese Aufgabe, die der Technik bis jetzt unüberwindliche Schwierigkeiten entgegengestellt hat, gelöst sein wird, kann man erwarten, daß die Farbenphotographie die Schwarzphotographie auf den meisten Gebieten verdrängen wird. Bis heute ist die farbenphotographische Aufnahme noch die Ausnahme, die Schwarzphotographie bekanntlich die Regel.

Noch einige Worte über die Herstellung der photographischen Negative mit Hilfe der Trockenplatten sind notwendig. Die Veränderungen, welche die Lichtwirkung am Bromsilber hervorbringt, sind mit dem Auge nicht wahrnehmbar. Was tatsächlich bei der Belichtung einer Trockenplatte vorgeht, ist sogar noch ein vielumstrittenes Problem. So viel steht aber fest, daß die Lichtwirkung das Bromsilber in der Art beeinflußt, daß seine Reduktion unter der Wirkung gewisser chemischer Agentien beschleunigt wird. Bringen wir daher eine belichtete Trockenplatte in eine passende reduzierende Lösung, so wird zunächst nur das belichtete Bromsilber zu metallischem Silber reduziert, während das unbelichtete Bromsilber der Reduktion zeitlich einen längeren Widerstand leistet. Durch richtige Leitung dieses Prozesses, den man als Entwicklung bezeichnet, entsteht somit ein Negativ, d. h. ein Bild, welches an den den hellen Stellen des Originals entsprechenden Partien dunkel, dagegen an den den dunkeln Stellen des Originals entsprechenden Partien hell erscheint. Dies durch Entwicklung entstandene Negativ wird dann haltbar und lichtunempfindlich dadurch, daß man das unreduzierte Bromsilber durch ein geeignetes Lösungsmittel entfernt, ein Vorgang, den man als Fixierung bezeichnet.

Nach den so entstandenen Negativen können nun beliebig viele positive Kopien hergestellt werden. Hierzu dienten früher ausschließlich, heute nur noch in beschränktem Umfange zahlreiche vom Negativverfahren abweichende Positivprozesse, die auf der unmittelbaren chemischen Veränderung verschiedener Körper durch das Licht gegründet sind. Heute werden all diese Prozesse scheinbar mehr und mehr durch den Bromsilbergelatineprozeß selbst verdrängt, der in Form der sogenannten Entwicklungspapiere jetzt das wichtigste Kopiermaterial darstellt. Dieser Umschwung wird hauptsächlich durch die Umständlichkeit und zeitraubende Arbeit des Kopierens

mit den alten Prozessen beschleunigt, deren verhältnismäßig geringe Lichtempfindlichkeit den Anforderungen der modernen Technik nicht mehr genügt. Nur noch für wenige, speziell künstlerische Zwecke werden die alten, häufig als Auskopierverfahren bezeichneten Methoden noch verwendet.

Diese wenigen Ausführungen müssen genügen, um die hauptsächlichsten Prinzipien der modernen Photographie klarzustellen.

Es erübrigt, noch einige kurze Bemerkungen über die photographische Apparatur zu machen. Gemäß den zahlreichen so verschiedenen Aufgaben der Photographie sind die für die Aufnahme bestimmten Apparate den speziellen Anforderungen entsprechend verschieden ausgeführt. Gemeinsam aber ist allen die Anforderung einer vorzüglichen optischen Ausrüstung. Das photographische Objektiv bildet einen der kompliziertesten und am besten durchdachten, seinem Zweck auf das sorgfältigste angepaßten optischen Apparat, und auf seine Konstruktion ist eine unvergleichlich hohe Summe geistiger Arbeit verwendet worden. Dies war um so nötiger, als die Photographie an das abbildende Instrument ganz eigenartige und sonst in der Optik nicht auftretende Forderungen stellt. Alle anderen optischen Instrumente besitzen im allgemeinen ein beschränktes Gesichtsfeld. Speziell das Fernrohr und das Mikroskop dienen zur Abbildung im Winkelwert beschränkter Objekte. Ihre ganze Natur bedingt die Notwendigkeit überaus scharfer Abbildung wenig ausgedehnter Gegenstände ohne Rücksicht auf die Abbildung größerer Flächen, die mit Hilfe dieser Instrumente überhaupt nicht in genügender Weise gelingt. Das photographische Objektiv dagegen soll einen großen Bildwinkel umfassen. Objekte von erheblicher Ausdehnung sollen abgebildet werden, und zwar soll die scharfe Abbildung möglichst genau und unverzerrt in einer Ebene stattfinden. Während es mit verhältnismäßig einfachen optischen Mitteln gelingt, Gegenstände in unmittelbarer Nachbarschaft der optischen Achse mit den auf der Achse gelegenen Gegenständen gleichzeitig scharf abzubilden, liegen bei der Abbildung ausgedehnter Objekte auf ebenen Flächen Schwierigkeiten vor, denen erst das ausgehende 19. Jahrhundert zu begegnen gelernt hat. Demgemäß ist auch die Konstruktion der photographischen Objektive speziell von den Fernrohrobjektiven erheblich abweichend. Die Forderung haarscharfer Abbildung auf der Achse steht hier nicht im Vordergrunde des Interesses. Die geringen Vergrößerungen, die die Bilder photographischer Linsen einzuhalten haben, sind viel geringer als die beim Fernrohr gebräuchlichen.

Abbildung 4a. Durchschnitt durch ein modernes photographisches Objektiv (Doppelanastigmat von C. P. Goerz, Berlin).

Abbildung 4. Querschnitt durch ein modernes photographisches Objektiv (Tessar, Zeiß, Jena).

Erst die Einführung neuer und eigenartiger, in ihren Brechungsverhältnissen und ihren sonstigen optischen Konstanten von den für Fernrohrobjektive gebrauchten Gläsern vollkommen abweichender Glastypen erlaubte die Lösung der schwierigen Aufgabe. Und wenn auch die Theorie des photographischen Objektivs an einzelnen Stellen der praktischen Optik nicht vollkommen in gleichem Schritt folgen konnte, so besitzen wir doch heute photographische Instrumente von einer fast idealen Vollkommenheit, bei denen die Aufgabe, unter Verwendung breiter Büschel, also unter Ausnutzung einer großen Lichtstärke, flächenhafte Objekte von vielen Zehnern von Graden Ausdehnung auf der Ebene scharf abzubilden, befriedigend gelöst ist. Es

war vor allen Dingen notwendig, den Astigmatismus zu beseitigen, eine allgemeine Eigenschaft schiefer Strahlenbündel, deren Wesen darin besteht, daß solche durch Linsen erzeugte, gegen die Achse stark geneigte Bündel durch die Linsenwirkung selbst unsymmetrisch gemacht und daher ihrer scharfen Zuspitzung im Fokus beraubt werden. Objektive, bei denen der Astigmatismus gleichzeitig mit der im allgemeinen den Linsen anhaftenden Eigenschaft, auf krummen Flächen abzubilden, behoben ist, nennen wir Anastigmate, und ihre Einführung in die Photographie bedeutet den wichtigsten Fortschritt dieser Technik selbst, weil erst mit Hilfe dieser anastigmatischen Linsen auch für große Öffnungen, d. h. also unter Ermöglichung kurzer Exposition, scharfe flächenhafte Bilder gewonnen werden. — Schließlich mag noch über die Empfindlichkeit unserer photographischen Präparate ein kurzes Wort gesagt werden. Gewöhnlich ist der Laie der Ansicht, daß die Empfindlichkeit der photographischen Präparate, von der wir auch im Vorstehenden Günstiges berichtet haben, der des Auges außerordentlich stark überlegen ist. Dies ist aber ein Irrtum, wie folgende Betrachtung leicht zeigt. Das Auge bedarf etwa 1/3 bis 1/2 Sekunde, um einen Stern fünfter Größe in einer klaren Nacht wahrzunehmen. Versuchen wir, einen solchen Stern auf einer sehr empfindlichen photographischen Platte mittels einer Linse zu photographieren, deren Öffnung gleich der der Pupille ist, also etwa 5 bis 6 mm beträgt, so brauchen wir, um ein schwaches Bildchen des Sternes zu erzeugen, mindestens 15 Minuten. Daraus ergibt sich also, daß die höchst empfindliche photographische Platte immer noch etwa tausendmal so unempfindlich ist als unser Auge. Dadurch verlieren natürlich die Betrachtungen, die wir vorstehend über die Möglichkeit angestellt haben, die Photographie für die Registrierung der feinsten und dem Auge nicht wahrnehmbaren Lichteindrücke zu benutzen, durchaus nicht ihre Richtigkeit.

*

So bedeutungsvoll für die Wissenschaft und die Technik die Errungenschaften der Photographie geworden sind, so würden sie doch nur eine verhältnismäßig untergeordnete, für die Kultur wenig bedeutungsvolle Rolle spielen, wenn es nicht gelungen wäre, die Erzeugnisse der Photographie in auf der Presse druckbare Bilder zu verwandeln. Erst dadurch, daß die Photographie Mittel und Wege gezeigt hat, um ihre Bilder auf der Druckpresse zu vervielfältigen und dadurch die Auflage derselben beliebig zu steigern, hat sie jenen überaus wichtigen Platz unter den Mitteln der Verbreitung der geistigen Kultur sich erobert, auf dem wir sie heute sehen. Man kann wohl sagen, daß, wie wir bereits einleitend hervorhoben, das photographisch hergestellte Bild und die photomechanisch erzeugten Illustrationen gleichwertig neben das Schriftwerk getreten sind. Nicht nur der Zahl nach und der Massenhaftigkeit der Verwendung übernimmt die Photographie hier eine führende Rolle, sondern ihre guten und wichtigen Eigenschaften der authentischen Wiedergabe, der objektiven Darstellung und der absoluten Deutbarkeit ihrer Erzeugnisse verdanken wir einen Umschwung in der Graphik. Die alten Verfahren zur Herstellung von Illustrationen, speziell der Holzschnitt und die ihm verwandten Techniken waren infolge ihrer Schwerfälligkeit überhaupt nicht imstande, dem steigenden Bedürfnis zu genügen, und so wird es denn einerseits begreiflich, daß auf die Ausbildung der photomechanischen Illustrationsverfahren eine ungewöhnlich große Menge geistiger Arbeit verwendet wurde, und anderseits, daß mit der Ausbildung dieser Verfahren die Menge, der Umfang und der erzielliche Wert unserer Illustrationen um ein Vielfaches gewachsen ist. Wir wollen versuchen, einen kurzen Überblick über den Stand der Technik auf diesem Gebiete zu geben.

Die alte Drucktechnik unterschied drei Methoden der Herstellung von Erzeugnissen der Druckpresse, den Hochdruck, den Tiefdruck und den Flachdruck. Der Hochdruck, repräsentiert beispielsweise im Holzschnitt, ist dadurch gekennzeichnet, daß die Farbe oder die Druckerschwärze von den hochstehenden Teilen des Klischees auf das Papier übertragen wird, während die auf irgendwelche Weise tiefergelegten Partien des Druckstockes weder beim Einwalzen Farbe empfangen, noch beim Abdruck solche abgeben können. Beim Tiefdruck findet das Gegenteil statt. Bei diesem Verfahren, welches wir beispielsweise im Kupferstich benutzen, wird die Farbe in die auf irgendeine Weise hergestellten Vertiefungen des Klischees eingerieben oder eingepreßt, während sie von der erhabenen Druckfläche entfernt und diese dadurch von Farbe gesäubert wird. Beim Abdruck wird dann die Farbe aus den Tiefen des Klischees auf das Papier übertragen, derartig, daß letzteres mit starkem senkrechten Druck gegen das Klischee gepreßt und die Farbe infolge ihrer stärkeren Adhäsion an das Papier von diesem aus den Vertiefungen herausgerissen wird. Im Gegensatz zu diesen beiden ältesten Druckverfahren steht das Flachdruckverfahren, welches in der manuellen Illustrationstechnik vergangener Zeiten allein durch den sogenannten Steindruck oder die Lithographie repräsentiert wurde. Hier druckt man von einem reliefflosen Klischee. Die Möglichkeit des Drucks ist nicht dadurch gegeben, daß infolge der Höhenverschiedenheiten einzelner Klischeeteile ein verschiedenartiges Abnehmen der Farbe bedingt wird, sondern dadurch, daß die an sich ebene Oberfläche des Druckstockes eine verschiedene

Abbildung 5. Mittelalterlicher Holzschnitt.

Abbildung 6. Neuerer Holzschnitt (sog. Tonholzschnitt) nach einer Photographie.

chemisch-physikalische Beschaffenheit aufweist, so daß bestimmte Stellen des Druckstockes beim Einwalzen die fette Farbe annehmen, während andere Stellen sie abstoßen. Bei der Lithographie wird diese Möglichkeit dadurch erzeugt, daß auf einem spurenweise porösen, wassersaugfähigen Material mit fetter Farbe gezeichnet, getuscht oder gemalt wird, und daß nach Ausführung dieser Operation das Klischee benetzt und dadurch an den Stellen, an welchen es nicht vorher mit fetter Farbe in Berührung gekommen war, fettabstoßend gemacht wird. Rollt man dann mit der Druckwalze über das Klischee fette Farbe, so wird diese nur an den gezeichneten oder bemalten Stellen angenommen, vom feuchten Planum des Klischees aber abgestoßen.

Die drei hierdurch genügend gekennzeichneten Wege der alten handgefertigten Illustrationen finden sich nun, allerdings in sehr veränderter Form, im modernen photomechanischen Druck wieder, und wir teilen daher unsere photomechanischen Verfahren ebenfalls in Hochdruck-, in Tiefdruck- und in Flachdruckverfahren ein, von denen das erste bis heute die weiteste Verbreitung gefunden hat.

Die Herstellung eines photomechanischen Hochdruckklischees kann unter Umständen eine sehr einfache sein, und die Lösung dieser technischen Aufgabe ist dementsprechend früh erfolgt. Wir nehmen an, daß es sich um ein sogenanntes Strichoriginal handelt, welches auf photographischem Wege in eine Druckplatte umgewandelt werden soll. Unter einem Strichoriginal wollen wir ein für allemal ein solches verstehen, bei welchem nur schwarze und weiße Druckelemente miteinander abwechseln. Also ein Strichoriginal würde beispielsweise eine Federzeichnung, ein Kupferstich, eine im Hochdruck gedruckte Buchseite etc. sein. Der Vorgang bei der Herstellung des photomechanischen Strichhochdruckklischees ist nun folgender: Es wird zunächst ein photographisches Negativ nach dem Original gemacht, wobei derjenige Maßstab gewählt wird, den der spätere Druckstock haben soll. Dieses Negativ dient als photographische Vorlage für die herzustellende Platte. Das Prinzip der Herstellung der Druckplatte beruht auf folgenden Erwägungen. Überziehen wir eine Metallplatte mit einer lichtempfindlichen Schicht, so können wir unser Negativ auf die Metallplatte kopieren; besitzt jetzt diese lichtempfindliche Schicht die Eigenschaft, durch bloße Belichtung ihre Löslichkeitsverhältnisse irgendwie zu verändern, so ist die Möglichkeit der Herstellung einer ätzbaren Platte gegeben. Die Technik kennt zwei prinzipiell verschiedene Wege, um dies zu erreichen: entweder benutzt sie die Eigenschaft gewisser Harze, durch Belichtung unlöslich zu werden, oder die gleiche Eigenschaft chromatsalzhaltiger organischer Kolloide. Unter der Gruppe der ersten Körper bevorzugt die Technik den Asphalt. Wird eine geeignete Asphaltsorte — es kann natürlicher oder auch künstlicher Asphalt Verwendung finden — in einem passenden Lösungsmittel, z. B. Terpentinöl, gelöst, so kann man mit dieser Lösung beispielsweise eine Zinkplatte ganz dünn überziehen. Der lackartige Überzug

Abbildung 7. Zinkstrichhochätzung.

erhärtet schnell an der Luft infolge der Verdunstung des Lösungsmittels. Asphalt besitzt nun die Eigenschaft, seine Löslichkeit in Terpentinöl durch Belichtung zu verlieren. Bringen wir daher in Kontakt mit unserer asphaltierten Zinkplatte unser Negativ in das Licht, so wird unter den durchsichtigen Stellen des Negativs nach einer gewissen Zeit der Asphalt seine Löslichkeit verloren haben, während unter den undurchsichtigen Stellen des Negativs kein Licht den Asphalt erreichen konnte und dieser daher seine ursprüngliche Leichtlöslichkeit bewahrte. Die so behandelte Zinkplatte braucht jetzt nur in ein Lösungsmittel für Asphalt, beispielsweise in Terpentinöl, eingelegt zu werden, dann wird das löslich gebliebene Areal des Asphaltlackes sich wegwaschen und das blanke Metall zutage treten, während die unlöslich gewordenen Bildstellen ihren Asphaltlacküberzug nicht sich ablösen lassen und daher mit der Asphaltlackschicht bedeckt bleiben. Die Zinkplatte befindet sich daher nach der Behandlung mit Terpentinöl in einem solchen Zustande, daß sie, in ein Säurebad gebracht, z. B. in Salpetersäure eingetaucht, an all den Stellen, die vom Asphaltlack entblößt sind, von der Säure korrodiert und tiefgeätzt wird. Es bleiben dann nur diejenigen Teile der Platte in ihrer ursprünglichen Höhe erhalten, welche auf unserer Originalstrichzeichnung schwarz waren, während zwischen den Strichen das Metall je nach der Länge der Wirkungszeit der Säure mehr oder minder tiefgeätzt wird. Wenn wir eine solche Zinkplatte nach der Ätzung mit Druckerschwärze einwalzen, können wir von ihr einen originaltreuen Abzug auf der Presse nehmen.

Abbildung 8. Moderne Tiegeldruckpresse für Hochdruck.
(Maschinenfabrik Rockstroh & Schneider Nachf. Aktiengesellschaft, Dresden-Heidenau.)

Man sieht, das Verfahren ist überaus einfach. In der Praxis aber müssen zur Erreichung des gewünschten Zieles gewisse Kunstgriffe benutzt werden, die darauf hinauslaufen, zu verhindern, daß die Ätzung, nachdem eine gewisse Tiefe derselben erreicht ist, nicht von der Seite her unter die Striche der Zeichnung greift. Wir müssen also die Ätzoperation so ausführen, daß eine Seitenunterätzung nicht stattfindet. Es genügt hier, diese Aufgabe anzudeuten, ohne die selbstverständliche Lösung derselben zu geben.

An Stelle des für diesen Prozeß vorstehend in seiner Benutzung geschilderten Asphalts verwendet die moderne Drucktechnik ein wesentlich bequemeres und besseres Hilfsmittel in der Gestalt chromsalzhaltiger Kolloide. Ähnlich wie der Asphalt durch Belichtung seine Löslichkeit in Terpentinöl verliert, verlieren Gemische von Eiweiß oder Gelatine oder Fischleim mit doppeltchromsauren Salzen ihre Löslichkeit in kaltem bzw. ihre Quellbarkeit in warmem Wasser. Wegen der erheblich viel größeren Lichtempfindlichkeit dieser Reaktion verwendet man heute im Strichhochdruck im allgemeinen den Asphalt nicht mehr, sondern an seiner Stelle die genannten Mischungen, bei deren Verwendung allerdings wegen ihrer geringeren Säurewiderständigkeit ebenfalls gewisse Kunstgriffe Platz finden müssen, auf die hier nicht eingegangen werden kann.

So leicht und einfach sich technisch demgemäß die Reproduktion eines Strichoriginals im photomechanischen Hochdruck gestaltet, so viel schwieriger ist die Lösung der Aufgabe der Reproduktion eines Halbtonoriginals nach dem gleichen Verfahren. Unter Halbtonoriginal verstehen wir bekanntlich ein solches, bei welchem Töne verschiedenen Helligkeitswertes den Übergang zwischen den höchsten Lichtern zu den Schatten vermitteln. Ein charakteristisches Beispiel eines Halbtonoriginals ist eine gewöhnliche Photographie oder auch eine Tuschzeichnung.

Der Wert der Reproduktion eines solchen Originals leuchtet ohne weiteres ein, denn die mechanische Ausführung derselben involviert begreiflicherweise die direkte Möglichkeit des Vervielfältigens einer Photographie mittels der Druckpresse, und diese Möglichkeit gibt ja hauptsächlich den photomechanischen Verfahren ihre technische Bedeutung.

Die Aufgabe kann nur auf einem Umwege gelöst werden, indem wir sie auf das gelöste Problem der Strichhochdruckätzung reduzieren, oder mit anderen Worten, wir müssen ein Verfahren anwenden, welches zunächst auf mechanischem Wege ein Halbtonoriginal in ein Strichoriginal überführt. Auf manuellem Wege ist diese Arbeit oft ausgeführt worden. Wenn man früher ein Ölbild — dies ist ja natürlich auch ein Halbtonbild — auf der Buchdruckpresse wiedergeben wollte, so überwies man es dem Holzschneider. Man ließ ihn nach dem Ölbild einen Holzschnitt in Strichmanier herstellen, wobei er die Halbtöne ihrem Tonwert nach in mehr oder minder dichte Schraffuren verwandelte, so daß also jeder Halbton durch ein Aggregat von schwarzen, diskreten Druckelementen wiedergegeben wurde, deren größere oder geringere Zusammendrängung auf dem weißen Grunde einen gewissen Helligkeitswert repräsentierte. Diese Aufgabe, die der Künstler lösen mußte, auf mechanischem Wege auszuführen, ist hier notwendig.

Diejenigen Verfahren, welche die Umwandlung eines Halbtonoriginals in ein der Buchdruckpresse zugängliches Strichoriginal auf rein photomechanischem Wege erstreben, nennt man Autotypie, und es wird erforderlich sein, das Wesen dieser Technik hier kurz zu kennzeichnen.

Die Operation des Aufbrechens der Halbtöne, wie man die Verwandlung eines Halbtonbildes in ein Strichoriginal nennt, wird mittels eines sogenannten Rasters vorgenommen. Der Raster ist im Prinzip weiter nichts als eine undurchsichtige Fläche, in welcher sich benachbarte, vollkommen gleiche und im gleichen Abstand befindliche Löcher befinden. Die Technik stellt diese Raster mit Hilfe von speziellen Maschinen auf folgende Weise her. Eine sehr sorgfältig polierte Spiegelglasplatte von den nötigen Dimensionen wird mit einem säurewiderständigen dünnen Wachsüberzug versehen. In diesen Wachsüberzug graviert man mittels der Liniiermaschine parallele

schmale Striche in gleichem Abstand, deren Breite etwa gleich dem Abstand zweier Striche gewählt wird. Die Gravierung wird mit einem Stichel so vorgenommen, daß der Wachsüberzug in den Strichen restlos abgeschabt wird. Hierauf wird die so vor-

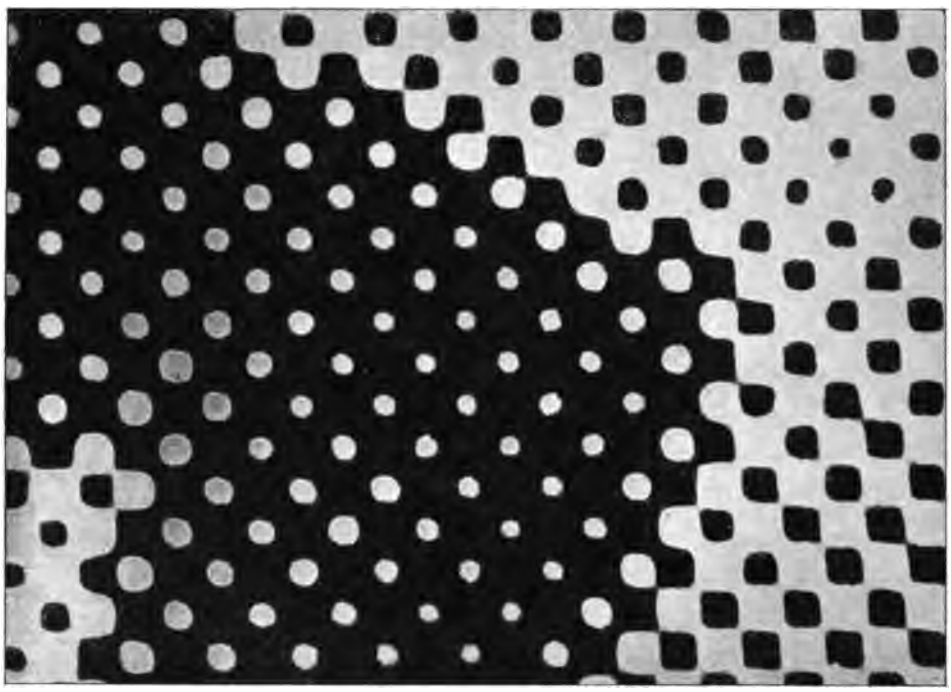


Abbildung 9. Vergrößerung einer Rasteraufnahme.

bereitete Platte der Wirkung von Flußsäure ausgesetzt, die die blankgelegten Glasteile angreift und tiefätzt. Nach genügender Tiefätzung wird der Wachsüberzug entfernt, die Platte mit einem äußerst fein verriebenen schwarzen Farbstoff überlegt und der Überschuß des Farbstoffes, soweit derselbe nicht in den geätzten Strichen sitzen bleibt, sauber entfernt. So erhält man eine regelmäßig schwarz liniierte Glasplatte, deren zwei um einen Winkel von 90 Grad gegeneinander gekreuzt mit den gravierten und eingeschwärzten Seiten zusammengekittet werden. Es entsteht dadurch eine von gleichmäßig großen quadratischen Fensterchen unterbrochene undurchsichtige Schicht zwischen den Glasplatten. Die Zahl der Fensterchen in einem Raster wird je nach der Feinheit der gewünschten Zerlegung des Originals gewählt. Für gewöhnliche Autotypien, wie sie beispielsweise in unserem Buche vielfach Verwendung gefunden haben, beträgt die Zahl der Linien 6 bis 7 per Millimeter, so daß auf den Quadratmillimeter Rasterfläche etwa 30 bis 50 Fensterchen kommen.

Dieser Raster wird nun in der photographischen Kamera, deren Objektiv auf das zu reproduzierende Original eingestellt ist, unmittelbar vor der photographischen Platte aufgestellt. Es fällt dann durch jedes Rasterfensterchen Licht auf die photographische Platte, dessen Menge von der Helligkeit des Originals an der betreffenden Stelle abhängt. Durch das Ineinandergreifen verschiedener chemischer und physikalischer Vorgänge, die im einzelnen hier nicht verfolgt werden können, entsteht dann auf der photographischen Platte hinter jedem Rasterfensterchen eine scheibchenförmige Lichtwirkung, und der Durchmesser dieser Scheibchen hängt von der Menge des jedes

Rasterfensterchen passierenden Lichtes ab, so daß an den Stellen, wo das Original hell war, die Bildchen der Rasterfenster auf der photographischen Platte miteinander fast vollkommen verwachsen und dort eine größere schwarze Fläche bilden, während in den dunkeln Stellen des Originals die Rasterfensterchen nur als äußerst feine, verhältnismäßig weit voneinander getrennte Pünktchen zur Abbildung gelangen. Ein solches autotypisches Negativ stellt also an sich ein Bild der Rasterfensterchen in ihrer Gesamtheit dar. Die verschiedene Größe der Abbildung der Einzelrasterfensterchen bedingt aber eine Tonabstufung des Negativs, die in einer gewissen, allerdings sehr komplex gearteten Weise von dem Helligkeitswerte am Original abhängt. Damit ist die Aufgabe der Zerlegung der Halbtöne in einzelne verschieden große, aber immer in gleichem Abstand befindliche Druckelementchen prinzipiell gelöst. In der Praxis aber stellt sich dies Verfahren viel komplizierter dar, als es nach dieser Beschreibung erscheint. Es ist Sache des Operierenden, sowohl die Tonabstufungen des Originals im aufgebrochenen Bilde möglichst richtig wiederzugeben, als auch durch passende Leitung des ganzen Prozesses dahin zu wirken, daß die im übrigen erforderlichen Qualitäten des autotypischen Negativs wunschgemäß erzielt werden.

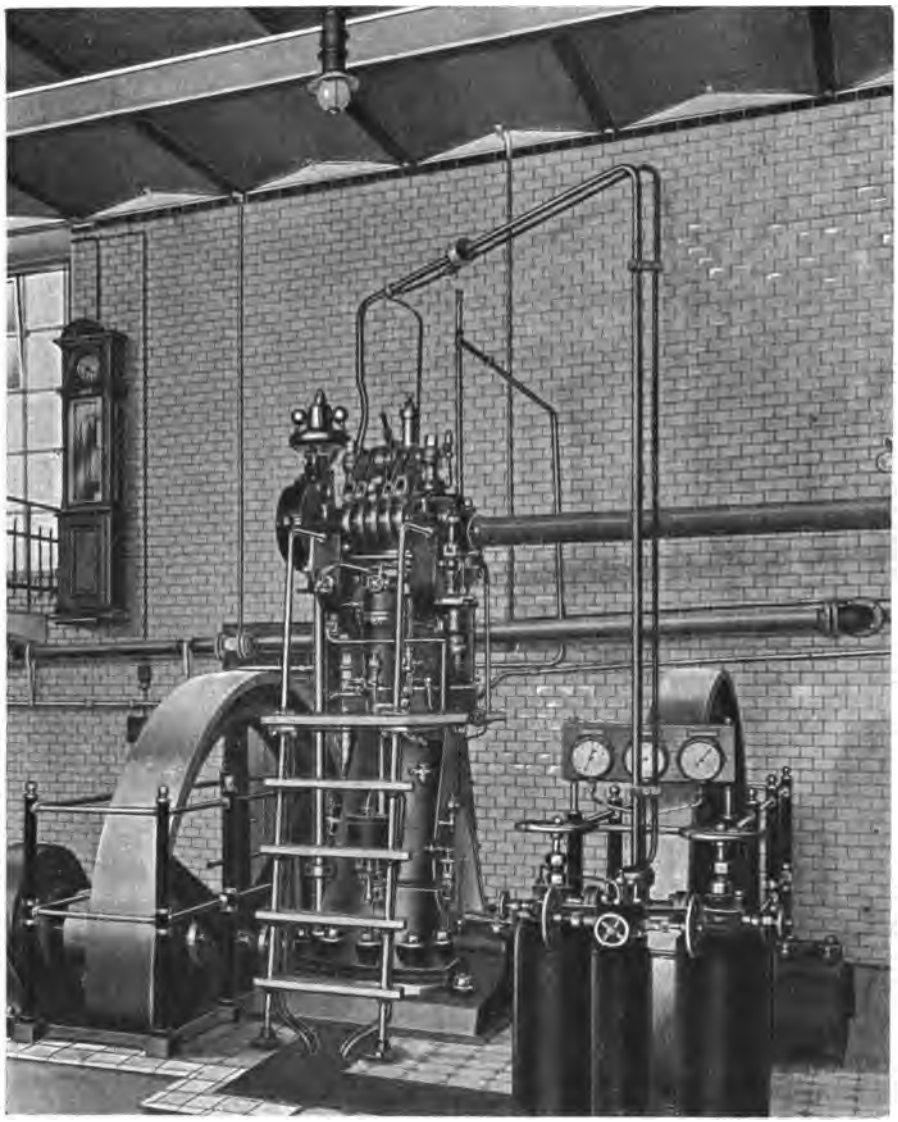


Abbildung 10. Wirkung der Rasterzerlegung mittels eines feinen Rasters.

Damit ist im Grunde die Reproduktion von Halbtonbildern auf die Reproduktion von Strichoriginalen zurückgeführt. Man braucht jetzt prinzipiell das Negativ nur genau so zu behandeln, wie wir es vorhin bei der Strichhochätzung gesehen haben, d. h. man kopiert auf einer mit Chromatkolloid überzogenen Metallplatte, entwickelt die entstandene Kopie in geeigneter Weise und ätzt die Platte mittels eines richtig gewählten Ätzmittels tief. Dieser Ätzprozeß kann aber bei der Autotypie anders und bequemer ausgeführt werden als bei der Strichätzung. Die Bedeckung der gesamten Bildfläche durch sehr benachbarte Bildelementchen bedingt, daß die Ätzung verhältnismäßig sehr flach ausgeführt werden kann, weil die einzelnen hochstehenden Pünktchen verhindern, daß die Druckwalze Farbe zwischen den einzelnen Druckpunkten ablagert.

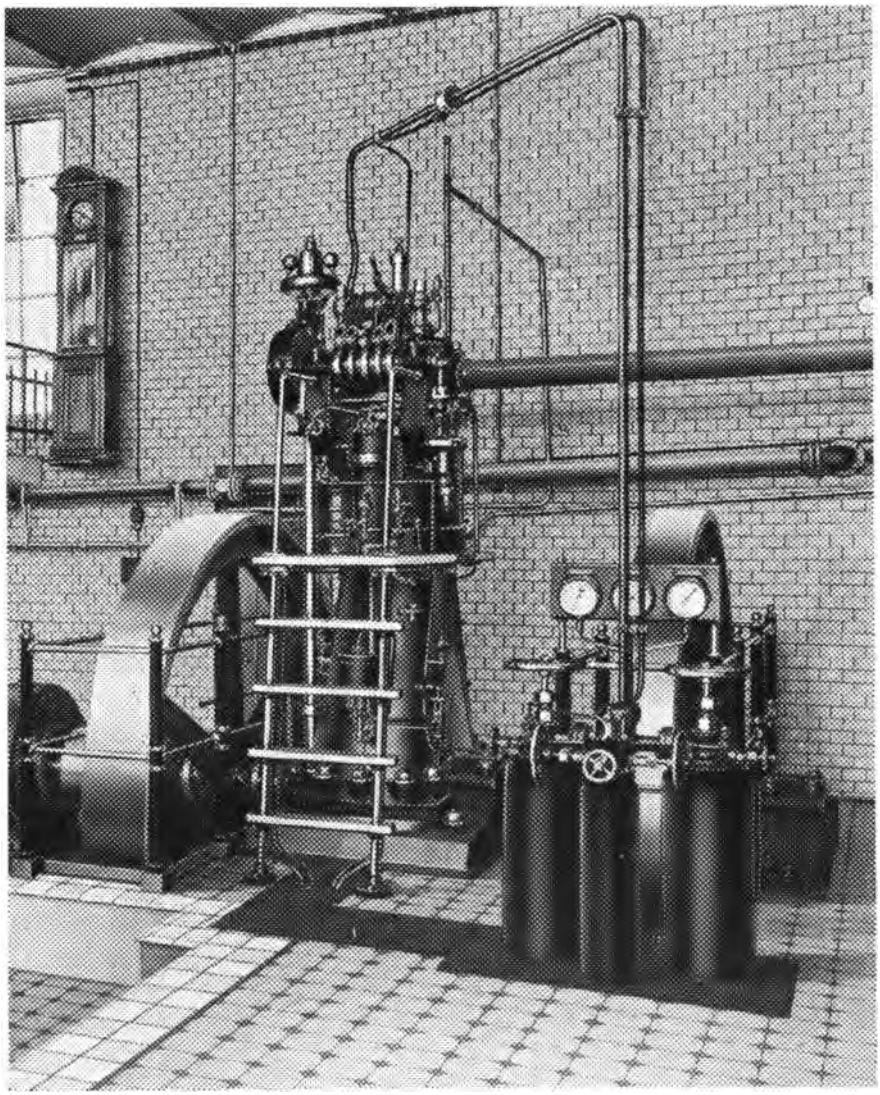


Abbildung 11. Wirkung der Rasterzerlegung mittels eines ganz groben Rasters.

Die größte Schwierigkeit bei dem Prozeß stellt die Erreichung genügender Säurewiderständigkeit der zu schützenden Plattenteile dar. An Stelle des beim Strichhochdruck beschriebenen Verfahrens verwendet man daher heute für feine Arbeiten vielfach zweckmäßig als Plattenmaterial Kupfer und benutzt als Kolloid bei der Präparation der Kupferplatte bichromathaltigen Fischleim, der in äußerst dünner Schicht aufgetragen, getrocknet, kopiert und dann in kaltem Wasser entwickelt wird. Der bei dieser Operation durch die Lichthärtung zurückbleibende Fischleim, der die Pünkt-

chen des autotypischen Bildes deckt, wird jetzt durch die Operation des Einbrennens säurewiderständig gemacht. Zu diesem Zwecke wird die Kupferplatte auf 300 bis 350 Grad erhitzt, wobei der Fischleim zu einer überaus säurewiderständigen, durch chemische Mittel kaum noch löslichen Emaille einbrennt, die eine zweckmäßige und sichere Ätzung außerordentlich begünstigt. Diese emailleartige Schicht ist so fest, daß man sie später häufig von der Druckplatte überhaupt nicht entfernt, sondern direkt von ihr druckt, wodurch die Glätte und Schönheit des Resultats erheblich gesteigert wird.

Die Autotypie ist das wichtigste aller photomechanischen Verfahren. Mindestens neunzig Prozent aller Reproduktionen werden auf diese Weise hergestellt. Und diese Wichtigkeit erklärt sich daraus, daß eine Autotypie unmittelbar mit der Schrift zusammen gedruckt werden kann, so daß die Abbildung in gleichem Arbeitsgange mit dem Text entsteht.

Allerdings stellt auch die Autotypie an die technische Vollkommenheit der Ausführung der Druckoperation und die Qualität des Druckpapiers überaus hohe Anforderungen. Die Notwendigkeit, die sehr zarten, kleinen, durch ihre verschiedenen Dimensionen die Tonwerte des Originals repräsentierenden Druckelemente ihrer Größe und Art nach möglichst vollkommen im Druck erscheinen zu lassen, fordert gebieterisch die Verwendung eines sehr glatten, strukturlosen Qualitätspapiers. Für die feinsten Arbeiten reicht selbst das glatteste und beste Naturpapier, dessen Oberfläche durch scharfes Kalandrieren möglichst vollkommen geebnet ist, kaum aus. Man hat sich gezwungen gesehen, für feinste autotypische Arbeiten spezielle Papiere zu verwenden, die unter dem Namen Kunstdruckpapiere oder gestrichene Papiere bekannt sind. Bei diesem Material ist eine absolut strukturlose glatte Oberfläche dadurch erzielt worden, daß man das fertige Papier mit einer besonderen Oberschicht überzieht, die durch das Auftragen einer mit entsprechendem Bindemittel versehenen weißen Deckfarbe erzeugt wird. Das Aufstreichen dieser Deckfarbe findet auf eigenartigen Bürstmaschinen statt. Leider ist bei diesen Papieren im allgemeinen eine sehr unangenehme Nebeneigenschaft zu beklagen: der hohe Glanz der Oberfläche, der wegen seiner unkünstlerischen Wirkung und auch, weil er die Lesbarkeit des Textes erschwert, unerwünscht ist. Erst in neuester Zeit versteht man es, Kunstdruckpapiere von absolut matter Oberfläche zu erzeugen, deren Druckqualitäten trotzdem hohen Anforderungen genügen.

Ebenso sorgfältig wie das Papier muß beim autotypischen Druck auch die Farbe gewählt werden. Für autotypische Arbeiten werden spezielle, äußerst fein verriebene und zugleich sehr stark deckende Druckfarben hergestellt, die unter dem Namen Kunstdruckfarben allerdings zu sehr hohen Preisen in den Handel gebracht werden. Der Aufwand an Druckfarbe spielt daher bei dem Erstehungswert erstklassiger Arbeiten eine nicht unerhebliche Rolle.

Es mag hier darauf hingewiesen werden, daß die starke Beanspruchung, die die zarten, wenig tiefgeätzten autotypischen Klischees in modernen, raschlaufenden Pressen erfahren, eine verhältnismäßig schnelle Abnutzung der Druckform bewirken. Überall wird daher, wo es sich um größere Auflagen handelt oder wo das Klischee in seiner ursprünglichen Vollkommenheit für spätere Auflagen erhalten bleiben muß, unter allen Umständen, sonst aber sehr häufig, nicht vom Originalklischee, sondern von einer Abformung desselben gedruckt, ebenso wie dies heutzutage mit Hilfe der sogenannten Stereotypie auch beim gewöhnlichen Letternsatz geschieht. Die Abformung autotypischer Klischees ist begreiflicherweise ein schwieriges Problem. Im Verhältnis zum

groben Satz ist das autotypische Klischee ja ein sehr zartes und feingliedriges Gebilde. Eine Abformung kann daher nur befriedigen, wenn sie die Feinheiten des Originals ohne jeden Verlust wiedergibt. Im allgemeinen wird die Abformung autotypischer Klischees auf galvanoplastischem Wege bewirkt, indem man zunächst in einem geeigneten plastischen Material nach der Originalplatte eine Patrize durch Druck herstellt, die dann galvanoplastisch verkupfert wird, während nach der Verkupferung das galvanische Metallhäutchen mit Lettermetall durch Hintergießen verstärkt wird.

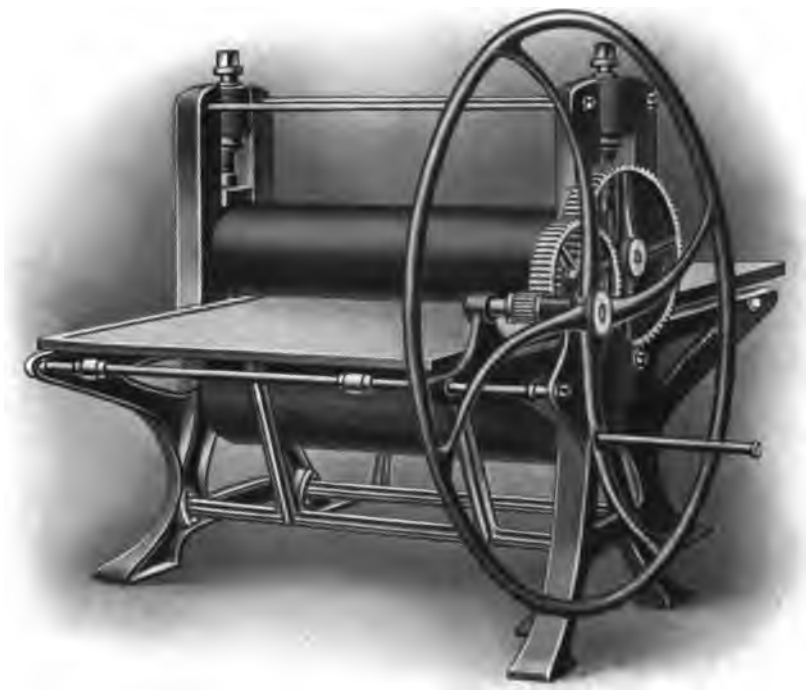


Abbildung 12. Kupfertiefdruckhandpresse.

Eine weitere notwendige Maßnahme beim autotypischen Druck ist die sogenannte Zurichtung, ein Verfahren, welches auch sonst in der Hochdrucktechnik allgemein üblich, für den autotypischen Druck aber in höchster Verfeinerung ausgebildet ist. Unter Zurichtung versteht man diejenige Manipulation, die die Anpressung des Druckpapiers an die Druckform in einer von Ort zu Ort wechselnden, den Wünschen nach der Ablagerung der Druckfarbe an den einzelnen Stellen des Druckes gerecht werdenden Weise vermittelt. Hierzu ist es erforderlich, daß sich unterhalb des zu druckenden Klischees zwischen ihm und der Auflage desselben ein elastisches, zweckmäßig reliefiertes Häutchen befindet, das den Druck an den einzelnen Stellen reguliert, oder daß dieses Häutchen sich zwischen Papier und Aufzug, also zwischen Druckpapier und der druckgebenden Fläche, befindet. Solche Zurichtungen werden aus dünnen, übereinandergeklebten Papierschichten oder auch vielfach heute sogar auf photomechanischem Wege hergestellt. —

Dem Handkupferstich entsprechend gibt es eine Reihe von photomechanischen Tiefdruckverfahren, die ebenfalls außerordentlich wichtig sind. Zwar ist ihre Benutzung auf gewisse Arbeiten beschränkt, aber gerade für die Erzeugung von Kupferstichersatzdrucken, Nachdrucken nach Kupferstichen und vor allen Dingen für die Verwandlung photographischer Aufnahmen in Tiefdruckklischees sind die Verfahren doch von großer Wichtigkeit. Auch hier können wir die Methoden der Strichreproduktion von denen

der Halbtonreproduktion unterscheiden. Die Kupferstichreproduktion wird hauptsächlich für kartographische Arbeiten benutzt und dient in Verbindung mit den sogenannten photographischen Umdruckverfahren in erster Linie für die Herstellung von Wertzeichen, Karten und ähnlichen Blättern. Der photomechanische Kupferstichtiefdruck kann in mannigfaltiger Weise ausgeführt werden. Es genügt hier ein einziges Beispiel für diese Verfahren, das der sogenannten Photogalvanographie. Als Ausgangspunkt für dieses Verfahren verwendet man den sogenannten Pigmentdruck, ein hauptsächlich früher auch für den Kopierprozeß in der gewöhnlichen Photographie ausgenutzter Prozeß. Der Pigmentdruck beruht auf dem von uns bereits früher erwähnten Unlöslichwerden bichromathaltiger Gelatineschichten unter der Einwirkung des Lichtes. Bringen wir eine auf Papier aufgetragene dicke bichromathaltige gefärbte Gelatineschicht in Kontakt mit einem durchscheinend gemachten Kupferstich oder einem photographischen Glasdiapositiv, so werden bei der Belichtung die belichteten Stellen der Gelatine in warmem Wasser unlöslich, und wenn wir dann unter gewissen Kautelen die so vorbereitete Schicht mit warmem Wasser behandeln, bleibt ein Gelatinerelief als Rest der ursprünglich gleichmäßig aufgetragenen Gelatinemasse übrig, das wir auf eine ebene Platte übertragen können. Dieses Gelatinerelief zeigt die dunkeln Linien des Originals als erhabene Stege. Bringen wir jetzt die so vorbereitete Kupferplatte in ein galvanoplastisches Bad als Kathode, so bildet sich ein gleichmäßiger Metallniederschlag auf derselben, der bald Zusammenhang gewinnt und in Gestalt eines dünnen, das Relief mit allen Feinheiten wiedergebenden Kupferblattes abgezogen werden kann. Dieses Kupferblatt wird jetzt durch Hintergießen mit Letternmetall verstärkt und kann dann genau wie ein Originalkupferstich durch Einreiben mit schwarzer Farbe, Entfernen des Überschusses der Druckfarbe vom Planum und Abdrucken auf der Kupferdruckpresse vervielfältigt werden. Es würde nun bei der Unbequemlichkeit, mit der die Manipulationen auf der Kupferdruckpresse im allgemeinen verbunden sind, verhältnismäßig kostspielig werden, einzelne Drucke von der Kupferplatte im Tiefdruck zu nehmen. Deswegen verwendet man für die Herstellung von Massenauflagen lieber den sogenannten lithographischen Umdruck, den man auch mit Rücksicht auf eine bestimmte andersgeartete Verwendung häufig als anastatischen Druck bezeichnet. Übertragen wir nämlich einen frischen Fettfarbendruck auf einen lithographischen Stein, indem wir den Druck mitsamt dem vorbereiteten Stein durch eine Presse ziehen, so überträgt sich die noch feuchte Druckerschwärze auf den Stein, schließt dessen Oberflächenporen zu und der Stein kann jetzt nach einer bestimmten sehr einfachen Behandlung wesentlich mit Wasser direkt zum Weiterdruck der Auflage benutzt werden. Dieses Umdruckverfahren spielt auch sonst in der Technik eine große Rolle, da es die Möglichkeit ergibt, jedes beliebige neugedruckte Blatt mit den einfachen Hilfsmitteln der Lithographie weiterzudrucken und zu vervielfältigen. Besonders in der Form des vorhin schon gestreiften anastatischen Druckes ist es nicht unwichtig. Der anastatische Druck bezweckt die nachträgliche Vervielfältigung irgendeines in einem Einzelexemplar vorliegenden Druckwerkes. Ein Beispiel mag die Verwendbarkeit erläutern. Es handle sich darum, irgendein Druckwerk in einer kleinen Nachdruckzahl wieder aufzulegen. Die Neuherstellung des Satzes und der Illustrationen würde zu kostspielig werden, um sich bei der geringzahligen Auflage zu lohnen. Man verfährt dann folgendermaßen: die betreffende Vorlage wird durch Behandlung mit chemischen Mitteln derartig beeinflußt, daß die Druckerschwärze wieder erweicht. Ihr Fettgehalt genügt dann, um einen Umdruck auf Stein zu ermöglichen, und von dem Steinumdruck kann jetzt eine beliebige kleinere oder größere Auflage hergestellt werden. So werden

Modernes amerikanisches Turmteleskop auf dem Mount Wilson.

Zu A. Miethe: Graphik.

auch massenhaft alte Kupferstiche nachgedruckt oder selbst Jahrhunderte alte Druckwerke faksimiletreu auf sehr einfachem Wege reproduziert.

Auch beim Kupfertiefdruck ist die Aufgabe, Halbtonbilder zu reproduzieren, wesentlich schwieriger als die Strichreproduktion. Wir müssen auch diese Verfahren, deren zukunftsreiche Ausbildung in der allerjüngsten Zeit dahin zu führen scheint, ihnen einen ganz wichtigen Platz in der Drucktechnik zu verschaffen, erörtern. Wir gehen hierbei von dem alten sogenannten Heliogravüreverfahren aus, welches, schon seit Jahrzehnten benutzt, einer erheblichen Verbreitung durch neue Erfindungen fähig gemacht worden ist.

Auch hier benutzt man die Eigenschaft einer bichromathaltigen gefärbten Gelatineschicht, unter der Wirkung des Lichtes in warmem Wasser unlöslich zu werden und ein Relief zu geben, dessen Vertiefungen und Erhöhungen der Deckkraft des Originalbildes entsprechen. Nach einem gewöhnlichen Negativ, das in richtigem Maßstab aufgenommen wurde, wird ein Glasdiapositiv erzeugt. Dieses Glasdiapositiv wird in Kontakt mit einer Pigmentschicht der vorhin erwähnten Art dem Licht ausgesetzt, bis die Härtung der Pigmentschicht genügend weit fortgeschritten ist. Jetzt überträgt man die Pigmentschicht auf eine vorher mit sogenanntem Staubkorn versehene Kupferplatte und entwickelt mit warmem Wasser. Gleich einem Abziehbilde löst sich dann der ursprüngliche Träger der Pigmentschicht, das Papierblatt, zunächst von der Pigmentschicht ab, die löslich gebliebene Gelatine wäscht sich allmählich fort und schließlich bleibt auf der Kupferplatte nur das gehärtete Gelatinerelief zurück.

Das Staubkorn auf der Kupferplatte, welches zur Ausführung des Prozesses absolut notwendig ist, stellt man dadurch her, daß man die Kupferplatte in einem Staubkasten mit einer gleichmäßigen Schicht von Asphaltstaub überzieht. Der Staubkasten ist eine rings geschlossene schrankartige Vorrichtung, in welcher man vorher durch einen Ventilator feinstgepulverten Asphalt aufgewirbelt und in der Luft des Kastens gleichmäßig verteilt hatte. Sobald dies geschehen, wird die Kupferplatte in der Nähe des Bodens in den Kasten eingeschoben, so daß sich der allmählich herabsinkende Staub auf ihr gleichmäßig absetzt. Sodann wird die Platte vorsichtig herausgenommen und bis über den Schmelzpunkt des Asphaltstaubes erhitzt. Der Staub schmilzt dann in feinen halbkugelförmigen Tröpfchen an der Kupferplatte fest. Auf diese so gestaubte und angeschmolzene Kupferplatte überträgt man das Gelatinerelief in der vorstehend beschriebenen Weise, läßt dasselbe trocknen und bringt die Platte jetzt in ein Ätzbad. Die Ätzung findet in einer Eisenchloridlösung statt, die ohne jede Gasentwicklung Kupfer schnell angreift und löst. Diese Eisenchloridlösung muß natürlich, ehe sie zum Kupfer gelangen kann, durch die Gelatineschicht diffundieren, und diese Diffusion dauert an den einzelnen Stellen der Platte verschieden lange. Durch die dünnen Stellen des Reliefs dringt die Eisenchloridlösung in wenigen Sekunden durch, während sie die hochstehenden Reliefteile erst nach Verlauf von mehreren Minuten passieren kann. Die Ätzung beginnt daher an den tiefliegenden Reliefstellen zuerst, und ehe noch die höchsten Teile des Reliefs von der Ätzflüssigkeit durchdrungen sind, hat die Ätzung der Tiefen schon erhebliche Fortschritte gemacht. So baut sich allmählich ein geätztes Bild auf der vorher blanken Kupferplatte auf, wobei die Ätzwirkung nur in den Zwischenräumen der Staubkörnchen angreifen kann und unter diesen kleine ungeätzte Partien des Kupfers wie feine unregelmäßig verteilte Stiftchen stehenbleiben. Diese Stiftchen, die die geätzten Flächen gewissermaßen durchsetzen, sind für den späteren Druckprozeß absolut notwendig. Sie verhindern nämlich, daß die Druckfarbe aus den Tiefen des Klischees herausgewischt werden

kann. Dies wird verständlich, sobald man den Druckprozeß selbst etwas näher betrachtet. Beim Tiefdruck muß ja, wie wir früher gesehen haben, die Farbe aus den Tiefen des Klischees auf das Papier übertragen werden, während die hochstehenden Teile des Klischees von Farbe entblößt sein müssen. Wir verfahren daher so, daß wir die in diesem Fall salbenartig zähe Druckfarbe zunächst auf das Klischee reibend auftragen und dann beispielsweise mit einem reinen Lappen den Überschuß der Farbe von den blanken hochstehenden Stellen der Platte wegwischen. Bei diesem Wegwischen würde die Farbe aus der flachen Ätzung mit herausgewischt werden, wenn nicht die kleinen Stiftchen, die unter den Staubpartikelchen stehengeblieben sind, das Herauswischen verhinderten. Jetzt kann ohne weiteres ein Abdruck auf der Kupferdruckpresse genommen werden.

Man sieht aber leicht, daß die hier vorzunehmenden Operationen besonders beim Druck größerer Auflagen recht schwierige sind. Die Farbe muß, wie geschildert, zunächst im Überschuß auf das Klischee aufgetragen und dann von Hand der vorhandene Überschuß vom Planum des Klischees wieder auf das sauberste entfernt werden. Diese lästige Operation ist äußerst zeitraubend, derartig, daß von einem größeren Heliogravüreblatt durch einen geschickten Drucker im Laufe des Tages häufig nur 8 bis höchstens 20 Abzüge genommen werden können. Der Preis der schönen Heliogravüreblätter wird dadurch natürlich ein ausnahmsweise hoher und erreicht den von Kupferstichen vielfach nahezu. Schon früh hat man angefangen, diese schwerfällige Druckoperation durch maschinelle Mittel zu vereinfachen. So hat man das Handwischen durch eine automatische Vorrichtung zu ersetzen versucht, die dadurch betätigt wird, daß ein endloses Wischtuch, über Walzen geführt, das Klischee wie eine Bürste säubert. Solche Pressen existieren beispielsweise für den Briefmarkendruck, der in vielen Ländern nach der Methode des Tiefdrucks ausgeführt wird. Erst in jüngster Zeit hat man damit begonnen, auf einem ganz neuen Wege photomechanisch Kupfertiefdrucke in Massenauflagen äußerst billig herzustellen. Der Erfinder des Verfahrens ist der gleiche, Klič, dem wir auch die Erfindung der Heliogravüre, jenes eben geschilderten photomechanischen Tiefdrucks, verdanken. Sie führt auf die längst bekannte Verwendung von Rotationsmaschinen auf dem Gebiete der Zeugdruckerei und der Tapetenfabrikation zurück. Im Zeugdruck hat man von altersher die endlose Bahn des Baumwollstoffes auf einer rotierenden Vorrichtung bedruckt, deren Wesen sich folgendermaßen kurz schildern läßt. Die Druckform besteht aus einer von Hand oder mittels Graviermaschinen hergestellten kupfernen Tiefdruckwalze, in deren zylindrischen Mantel die Druckmuster eingraviert wurden. Der Stoff wird gegen diese Walze, die fortdauernd rotiert, durch eine zweite Andrückwalze durchlaufend, angepreßt, während die gravierte Walze aus einem eigenartigen Farbwerk fortdauernd mit Farbe gespeist wird. Das Farbwerk besteht aus einem dem Walzenmantel fest anliegenden Troge, der mit Farbe gefüllt ist. Aus diesem Troge gelangt also ein Überschuß von Farbe auf die Peripherie des Walzenmantels und füllt die Vertiefungen der Gravierung aus. Der Überschuß der Farbe, der dem Planum des Walzenmantels anhaftet, wird, ehe noch die Walze in Berührung mit dem zu bedruckenden Stoffe gerät, durch ein scharf geschliffenes elastisches Messer, welches fast tangential gegen den Walzenmantel drückt, abgestreift und auf diese Weise das Planum des Walzenmantels von Farbe gereinigt. Dieses Abstreifmesser nennt man in der Technik einen Rakel. Die Einführung dieser Maschinen in den photomechanischen Kupfertiefdruck ist nun ohne weiteres verständlich. Beispielsweise kann man so verfahren, daß man die vorhin geschilderte Ätzung nicht auf einer ebenen Kupfer-

platte vornimmt, sondern das Pigmentrelief auf eine kupferne Walze überträgt, auf ihr entwickelt und dann die Walze wie vorhin geschildert mit Eisenchlorid ätzt. Das Kupferdruckpapier wird dann dieser Walze genau so zugeführt wie der Kattun der

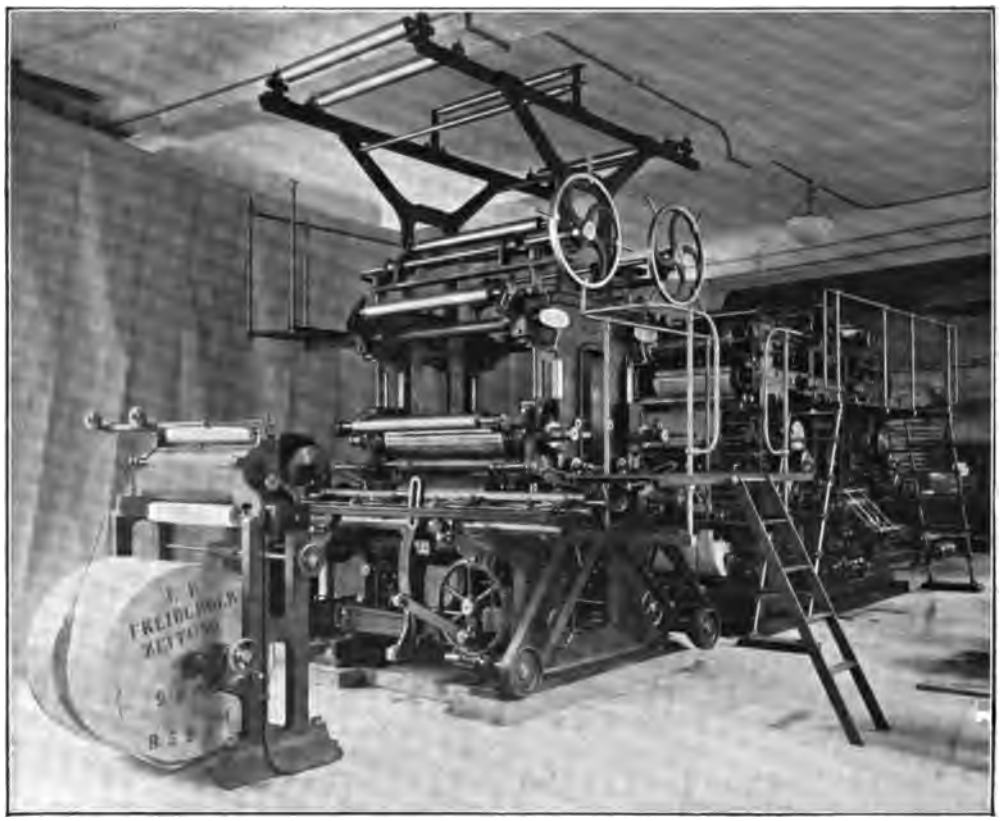


Abbildung 13. Kombinierte Tief-Hochdruckpresse für Zeitungsdruck. (Deutsche Mertensgesellschaft G. m. b. H., Freiburg i. B.

Zeugdruckmaschine, und als Farbe dient eine passend zusammengesetzte Kupferdruckfarbe. Gemäß der viel größeren Feinheit eines photographisch hergestellten Tiefdruckklischees auf der Walze müssen natürlich derartige Maschinen außerordentlich sauber gearbeitet sein und vorzüglich funktionieren. Vor allen Dingen ist an die Beschaffenheit des Rakelmessers die hohe Anforderung zu stellen, daß es einerseits die Farbe vom Planum der Walze restlos abstreift und anderseits mit seiner Schneide die weiche, äußerst schnell rotierende Walze nicht verletzt. Das geringste Staubkörnchen oder ein Sandkorn, welches in die Farbe hineingerät, wird unbedingt zu einem Unbrauchbarwerden der Druckform führen müssen. Deswegen muß die Schneide des Rakels während der gesamten Druckzeit rasiermesserartig scharf und doch vollkommen gratfrei gehalten werden, was in der Praxis große Schwierigkeiten macht, in neuerer Zeit aber nach einem Mertensschen Patent durch eine während des Druckes fortdauernd arbeitende Schleifmaschine erreicht wird. Der Rakel besteht zu diesem Zweck aus einem Stück Sägeblattstahl, das, mindestens drei- bis viermal so lang als die Walzenlänge, durch eine automatische Vorrichtung fortdauernd in seiner Ebene von rechts nach links und von links nach rechts bewegt wird, während die Schleif-

scheibe dauernd arbeitet, so daß mit dem Klischee immer neue, frisch geschliffene Stellen des Rakelmessers in Berührung kommen.

Praktisch ist es nun nicht wohl möglich, von einer solchen Maschine Walzen zu drucken, die mittels des Staubkornverfahrens geätzt sind. Man benutzt vielmehr Walzen, die ein regelmäßiges Rasterkorn besitzen, und die ähnlich wie autotypische Klischees mit Hilfe des früher beschriebenen Rasters hergestellt werden. Bestimmte spezielle Verfahrensarten zur Herstellung derartiger Walzen sind durch zahlreiche Patente geschützt.

Bei dem außerordentlich starken Druck, mit dem das Papier im Kupfertiefdruck auch bei Verwendung des eben geschilderten Rotationsdruckes an das Klischee angepreßt werden muß, besteht die Möglichkeit, die Qualität desselben wesentlich geringer zu wählen als beispielsweise beim autotypischen Druck. Überhaupt stellt der Kupfertiefdruck in dieser Beziehung sehr geringe Anforderungen. So kann man beispielsweise auf ganz gewöhnlichem Zeitungspapier recht gute Kupferdrucke herstellen. Das Verquetschen der Farbe, das im Hochdruck bei Verwendung starker Pressung und ordinären Papieres unentrinnbar eintreten muß, ist beim Tiefdruck vollkommen ausgeschlossen. Diese Möglichkeit, auch die billigsten Papiere für das Kupfertiefdruckverfahren zu verwenden, in Verbindung mit dem fast beliebig hoch zu steigernden Schnellgang der geschilderten Tiefdruckrotationspresse eröffnet dem photomechanischen Tiefdruck eine ganz ungeahnte Perspektive. So hat Mertens beispielsweise unmittelbar mit einer gewöhnlichen Buchdruckrotationspresse seine Kupferdruckpresse verbunden, derart, daß das von der Maschine der Rolle zugeführte Papier zunächst die Kupferdruckpresse mit großer Geschwindigkeit passiert, dort den Bilddruck empfängt und dann sofort ohne weitere Unterbrechung in die Rotationsmaschine wandert und den Textdruck aufnimmt. Es gelingt auf diesem Wege, mit Kupferdruck illustrierte Zeitungen mit derselben Geschwindigkeit zu drucken, wie sie auf der gewöhnlichen Rotationspresse sonst erzeugt werden. Mertens hat Auflagen bis zu 12000 Stück pro Stunde gedruckt, und eine Reihe von großen Tageszeitungen hat dieses Verfahren bereits in ihren Betrieb eingeführt. Die Qualität der so gedruckten Illustrationen ist trotz der Verwendung minderwertiger, ganz gemeiner Druckpapiere wesentlich besser als die der selbst auf viel wertvolleren und kostspieligeren Papieren hergestellten autotypisch illustrierten Zeitschriften und Zeitungen. Selbstverständlich kann der im Kupferdruckrotationsprinzip entwickelte Gedanke nun weiter ausgebildet werden. Man könnte die Möglichkeit ins Auge fassen, die so bequeme Manipulation des Rotationstiefdruckes auch auf den Satz auszudehnen und so in einer Operation Illustration und Satz herzustellen. Hierzu ist nur erforderlich, Methoden auszubilden, um eine schnelle und sichere Ätzung des gewöhnlichen Letternsatzes auf Kupferwalzen zu ermöglichen, Verfahren, deren prinzipielle Ausgestaltung bereits gelungen ist.

Selbstverständlich ist diese Methode des Schnelltiefdruckes nicht auf die Verwendung von Rotationsmaschinen beschränkt, man kann ebensogut auch von der ebenen Platte mit ähnlich konstruierten Maschinen im Bogendruck vorgehen, und speziell bei der Herstellung höherwertiger Produkte in kleineren Auflagen wird ein solches Vorgehen aussichtsreich erscheinen, um so mehr, als die Herstellung von Kupferdrucken auf der Rotationspresse nur dann die kostspielige Herstellung der Walzen und eine gute Ausnutzung der Maschinen zulassen wird, wenn die Auflage entsprechend hoch ist. In allen anderen Fällen wird im Interesse der Papierersparnis der Bogendruck vorzuziehen sein.

Wir stehen hier erst im Beginn einer Entwicklung, die, soweit es sich jetzt übersehen läßt, für das gesamte Druckereigewerbe von großer Tragweite sein muß. In dem Moment, wo es tatsächlich gelungen sein wird, den Tiefdruck unter Aufwand etwa gleicher Kosten an Stelle des Hochdruckes zu setzen, wird dessen letztes Stündlein geschlagen haben, um so mehr, als der Tiefdruck in technischer Beziehung dem Hochdruck, besonders was die Vollkommenheit seiner Resultate anlangt, unvergleichlich überlegen ist. —

Der photomechanische Flachdruck wird wesentlich durch den sogenannten Lichtdruck repräsentiert. Zwar gehören hierher auch die vorstehend bei Gelegenheit des Kupferdruckes erwähnten Umdruckverfahren auf Stein, doch sind diese nicht als eigentliche photomechanische, sondern als rein mechanische Verfahren anzusprechen, um so mehr, als für den Umdruck nicht nur photographische Drucke, sondern auch irgendwelche anderen Pressedrucke Verwendung finden können.

Der Lichtdruck dient in der heutigen photomechanischen Technik in erster Linie als Ersatz für die echte photographische Kopie, da er ihr außerordentlich ähnlich gemacht werden kann, und da er sich ebenso wie diese wesentlich für kleine Auflagen bis zu 2000 oder höchstens 3000 Exemplaren vorzüglich eignet. Für große Auflagen kommt der Lichtdruck kaum in Frage, weil die Druckplatte selbst nur eine beschränkte Abdruckfähigkeit besitzt und ihrer ganzen Natur nach sich nicht zur Massenreproduktion eignet. Die Vorteile des Lichtdruckes sind einmal die schon geschilderten Eigenschaften desselben, eine photographische Kopie vorzutäuschen, und zum anderen Male die Wohlfeilheit der Herstellung der Druckplatte, die kaum einen nennenswerten Materialaufwand erfordert. Zudem ist die Operation der Herstellung der Platte selbst verhältnismäßig einfach und erfordert geringe Arbeitszeit, während anderseits die Möglichkeit der Massenherstellung derartiger Platten in verhältnismäßig wenig umfangreichen Betrieben einen weiteren Vorzug bedeutet.

Der Lichtdruck beruht wesentlich auf den Eigentümlichkeiten einer richtig hergestellten, auf fester Unterlage befindlichen Bichromatgelatineschicht, die durch Lichtwirkung ihre Quellbarkeit mehr oder minder verloren hat.

Überziehen wir eine Glasplatte mit einer Gelatinebichromatschicht und belichten sie unter einem Negativ, so quillt die Schicht je nach der Menge des Lichtes, die jede einzelne Stelle erhalten hat, mehr oder minder stark in kaltem Wasser auf. Es entsteht eine Art von Relief, dessen Eigentümlichkeit darin besteht, daß die niedrigen Stellen desselben, also diejenigen Stellen, welche wenig oder kein Wasser aufgenommen haben, beim Einwalzen mittels fetter Farbe diese annehmen, während die höheren Stellen des an sich überaus flachen Reliefs wegen ihrer Quellung und Wasserhaltigkeit die fette Farbe in hohem Grade oder vollkommen abstoßen. Hat man daher ein solches Gelatinerelief mittels einer weichen Walze mit fetter Farbe eingerollt, so kann man von demselben einen Abzug auf der Steindruckpresse nehmen, einen Abzug, der die Halbtöne des Originals bei richtiger Manipulation in sehr vollkommener Weise wiedergibt. Vorbedingung für diese letztere Eigenschaft ist aber auch hier natürlich die, daß die Druckschicht eine gewisse Körnung aufweist, weil nur unter diesen Umständen ein befriedigendes Halbtonbild entstehen kann. Die Körnung der Lichtdruckplatte entsteht von selbst durch die Art der Herstellung derselben. Sie entspricht in ihrer Wirkung dem Rasterkorn bei der Autotypie und dem Staubkorn bei der Heliogravüre.

Als Unterlage für die Lichtdruckplatte dient heute in fast allen Fällen eine mattierte Spiegelglasscheibe von genügender Dicke. Die Mattierung des Glases, die

weiter nichts ist als eine feine Körnung der Oberfläche, kann für den Lichtdruck kaum entbehrt werden. Sie bildet die erste Grundlage für die Entstehung des Lichtdruckkorns.

Um die durch die Mattierung der Oberfläche der Platte bereits vorbedingte Kornbildung — es handelt sich hier um die Entstehung eines sogenannten Runzelkorns in der Präparationsschicht — einzuleiten, ist es notwendig, die Gelatineplatte bei erhöhter Temperatur zu trocknen. Die mit der Präparationslösung übergossenen Spiegelgläser werden daher sofort in einen Lichtdruckofen gebracht, der auf einer konstanten, im allgemeinen zwischen 40 und 60 Grad Celsius liegenden Temperatur gehalten wird. Es ist absolut notwendig, daß das Trocknen der Platten zeitlich äußerst gleichmäßig erfolgt, und deswegen muß ein Lichtdruckofen die Konstanz aller Verhältnisse, in erster Linie also des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft und der Temperatur derselben verbürgen. Die Lichtdrucköfen bestehen aus luftdicht geschlossenen Kästen, die mit einer passenden Heizvorrichtung und mit Nivellierungsgestellen versehen sind, auf denen die Platten in genau horizontaler Lage trocknen können. Die Heizvorrichtung ist in modernen Betrieben meist eine Warmwasser- oder Dampfheizung, gelegentlich werden auch elektrische Heizvorrichtungen mit Erfolg benutzt. Die Heizung befindet sich unterhalb des Lichtdruckofens, dessen Unterfläche gewöhnlich aus einer starken Metallplatte besteht, auf die zwecks Verteilung der Wärme eine handhohe Schicht Glasbrocken, Kies oder Porzellanschrott ausgebreitet ist. Um die Feuchtigkeit der trockenen Platten abzuleiten, ist ferner die obere Fläche des Lichtdruckofens mehrfach durchbrochen und die Öffnungen durch übergespannte staubdichte Stoffe verschlossen. Nachdem die Platten in den Ofen gebracht sind, wird derselbe zugfrei geschlossen und der Trocknungsprozeß in etwa zwei bis drei Stunden durchgeführt. Jeder Luftzug und jede Temperaturschwankung macht sich durch unregelmäßige Zonen, die nachher im Druck sichtbar werden, auf den Platten bemerklich.

Die fertig präparierten getrockneten Platten müssen in verhältnismäßig kurzer Zeit verarbeitet werden, da sie keine längere Haltbarkeit besitzen. Sie kommen im Kopierrahmen unter ein gewöhnliches, aber spiegelverkehrtes Negativ zu liegen, wenn Seitenrichtigkeit des Lichtdruckes erforderlich ist. Die Herstellung von spiegelverkehrten Negativen bietet der Technik keinerlei Schwierigkeiten. Meist wird die notwendige Rechts-Links-Vertauschung dadurch vorgenommen, daß man bei der Reproduktion ein total reflektierendes Prisma oder einen Silberspiegel unter 45 Grad Neigung in den Strahlengang schaltet, die die Spiegelverkehrung bewirken. Da auf der Lichtdruckplatte der Fortschritt der Lichtwirkung mit bloßem Auge schlecht zu sehen ist, wird das Kopieren mit Hilfe eines sogenannten Photometers vorgenommen, dessen Zweck die genaue Dosierung der Lichtmenge ist. Die kopierte Platte muß nun zunächst durch Auswaschen mit kaltem Wasser von den überschüssigen Salzen befreit werden. Sie quillt hierbei mehr oder minder stark auf und bildet das vorhin geschilderte flache Relief. An dieses Wässern kann sich unmittelbar die Druckoperation auf der Lichtdruckplatte anschließen. Nachdem alle überschüssige Feuchtigkeit von der Oberfläche der Platte abgesaugt oder auf anderem Wege entfernt ist, kann man die Platte unmittelbar mit fetter Farbe einrollen. Zu diesem Zweck dienen auf der Lichtdruckpresse weiche, äußerst elastische Farbauftragwalzen, die aus sogenannter Hektographenmasse bestehen. Die Hektographenmasse ist eine durch Schmelzen hergestellte strengflüssige Mischung von gewöhnlichem Leim und Glyzerin mit wenig Wasser. Sie bildet eine kautschukartige, elastische, widerstandsfähige Substanz, aus der über stählernen Achsen in geeigneten Formen die zylindrischen Walzen gegossen werden, ähnlich wie man Lichter zu gießen pflegt. Nachdem diese Walzen aus dem Farbwerk der Maschine

fette Farbe aufgenommen haben, rollen sie über die auf der Presse befestigte Lichtdruckplatte und lagern die fette Farbe in Gemäßheit der Lichtwirkung an ihrer Oberfläche an. Beim Druck wird sich nun folgender Vorgang abspielen. Das Papier, welches für diesen Zweck saugend sein muß, nimmt während der Druckoperation die fette Farbe zum größten Teil von der Platte ab, aber gleichzeitig wird der Platte von ihrem ursprünglichen Wassergehalt ein gewisser Bruchteil entzogen. Nach einer Reihe von Drucken muß infolgedessen die Platte trockener und trockener werden und in Gemäßheit ihrer allmählichen Austrocknung mehr und mehr fette Farbe annehmen. Besonders die feuchten Stellen der Platte, d. h. diejenigen, die der geringsten Lichtwirkung ausgesetzt waren, trocknen allmählich aus, nehmen dann von Druck zu Druck mehr und mehr Farbe auf, und schließlich würden die Papierabzüge immer dunkler und dunkler und zu gleicher Zeit monotoner werden, so daß die Abzüge zeichnungslos schwarz ausfallen müßten. Um das zu verhindern, d. h. um die Auflage in Zeichnung und Farbmasse gleichmäßig werden zu lassen, müßte man eigentlich dafür Sorge tragen, daß der Platte nach jedem Druck wieder so viel Feuchtigkeit zugeführt wird, wie sie bei dem jedesmaligen Abzug verliert. In der Praxis erreicht man dies dadurch, daß man die Platte nicht unter Benetzung mit reinem Wasser zum Druck bringt, sondern schwerer verdunstbare Flüssigkeiten und solche Mischungen als Feuchtflüssigkeit benutzt, die nicht leicht aus der Gelatine heraus in das Papier diffundieren. Diese Feuchtflüssigkeiten sind gewöhnlich Mischungen von Wasser mit Glyzerin, Ammoniak und hygroskopischen Salzen, wie beispielsweise Natriumthiosulfat. Bei ihrer Verwendung ist es nicht notwendig, die Platte nach jedem Einzeldruck neu zu feuchten, sondern es genügt, diese Feuchtung nach je 20 bis 50 Drucken zu erneuern. Zu diesem Zweck werden in den angegebenen Zwischenräumen die Platten jedesmal mit einem feuchten Schwamm oder Lappen mit der Feuchtflüssigkeit leicht eingerieben.

Der Lichtdruck bietet technisch gewisse Schwierigkeiten dar; vor allen Dingen die Aufgabe, daß der Rand des Druckes keine Spur von Farbe aufnehmen soll, und daß die Auflage gleichmäßig erscheint, ist nicht ganz einfach zu lösen. Die Zahl der Abzüge, die von einer Platte genommen werden kann, ist nicht übermäßig groß. Es hängt sehr von der Schnelligkeit des Ganges der Presse, von der Auswahl der Gelatine und von der Natur des benutzten Druckpapiers ab, ob eine Platte die normale Auflagenzahl aushält. Sehr häufig zeigen sich bereits nach 500 bis 800 Drucken schadhafte Stellen an der Platte. Die Platte muß dann durch eine neue, die bei größeren Auflagen bereits im Vorrat präpariert worden waren, ersetzt werden. Bei dem geringen Wert, den die Lichtdruckplatte besitzt, und bei der Möglichkeit, die verwandten Spiegelglasplatten, falls sie nicht durch irgendeinen Unglücksfall zu Bruch gehen, immer wieder zu benutzen, ist der Arbeits- und Materialaufwand hier gering.

In neuerer Zeit werden alle Lichtdruckplatten von der sogenannten Schnellpresse gedruckt. Die Lichtdruckschnellpresse ähnelt einer gewöhnlichen Steindruckpresse in allen wichtigen Punkten. Die Platte wird auf einem auf einer Schienenbahn horizontal beweglichen Drucktisch befestigt. Durch ein Getriebe wird dieser Drucktisch in konstanter langsamer Bewegung von rechts nach links und dann wieder von links nach rechts gehalten. Bei dieser Bewegung gelangt die Platte zunächst unter das Farbwerk, wo sie durch das Überrollen mit zahlreichen nebeneinander angeordneten Leimwalzen die nötige Farbe empfängt. Gewöhnlich ist das Farbwerk aber komplizierter zusammengesetzt. Neben der Batterie von Leimwalzen befindet sich auf ihm eine zweite Batterie von lederbezogenen Walzen, die ebenfalls Farbe auf das Klischee übertragen. Die elastischen, mit rauhem, aber nicht narbigem Leder über-

zogenen Walzenkörper setzen die Farbe hauptsächlich massig in die Tiefen des Klischees, die Leimwalze mit ihrer glatten, elastischen Oberfläche nimmt dann einen Teil der in die Tiefen abgesetzten Farbe wieder heraus und setzt vor allen Dingen Druckfarbe an den zarten Halbtönen an. Der Abdruck von der eingefärbten Platte findet dann dadurch statt, daß sich ein Zylinder — der Druckzylinder — auf die mit dem bewegten Drucktisch vorbeigeführte Platte herabsenkt und auf ihr unter starkem elastischen Druck abrollt. Der Zylinder führt auch bei jedem Arbeitsgang der Presse der Platte ein Blatt Druckpapier zu, das ihm seinerseits durch einen Arbeiter mittels der sogenannten Anlegevorrichtungen zugebracht wird.

Die Leistungsfähigkeit einer Lichtdruckschnellpresse ist keine sehr große. Die hin- und hergehende Bewegung des schweren Drucktisches, dessen Stöße durch arbeitspeichernde Federn aufgenommen werden müssen, schließt von vornherein den rapiden Gang einer kontinuierlich laufenden Maschine aus. Ferner ist es erwünscht, daß die Platte vor dem Druck das kombinierte Farbwerk zweimal passiert, d. h. daß auf einmaliges Einfärben mit den Leim- und Lederwalzen eine Wiederholung dieser Operation erfolgt, um eine möglichst gute Einfärbung des Klischees zu erzielen, und schließlich ist auch die leicht verletzliche Oberfäche der Lichtdruckplatte nur dann den Anforderungen gewachsen, wenn der Gang der Presse ein langsamer ist. Demgemäß liefert die Lichtdruckpresse günstigstenfalls für feine Arbeiten fünf bis sechs Drucke pro Minute, d. h. 300 bis 400 Drucke pro Stunde, so daß zur Vollbeschäftigung einer Presse während der Tagesarbeitszeit ein zwei- bis dreimaliger Wechsel der Druckplatte erforderlich wird. Das Einrichten der Platte, das Druckfertigmachen derselben und die übrigen beim Beginn der Druckoperation notwendigen Arbeiten bedingen ziemlich erhebliche Verzögerungen. Trotzdem sind Lichtdruckarbeiten verhältnismäßig wohlfeil, und speziell auf einigen Gebieten der Drucktechnik sind die für Lichtdruckarbeiten gezahlten Preise erstaunlich gering. So liefert die Industrie beispielsweise die so sehr verbreiteten Lichtdruckansichtspostkarten zu einem Tausendpreise, der selten 15 bis 18 Mark übersteigt, unter Umständen aber erheblich unter diesen Betrag sinkt. Wenn man erwägt, daß um diesen Preis nicht nur der Lichtdruck, sondern auch der Karton und der Buchdruck auf der Adressenseite geliefert werden muß, so begreift man, daß dies nur dann möglich ist, wenn eine wirkliche Massenfabrikation Platz greift. Diese Massenfabrikation wird dadurch ermöglicht, daß bei Postkarten beispielsweise sogenannte Sammeldrucke ausgeführt werden, indem zahlreiche (24 bis 40) Originale zu einem großen Negativ vereinigt werden, so daß dann ein gemeinsamer Druck von einer entsprechend großen Platte auf passend dimensioniertem Papier stattfinden kann. Die Leistungsfähigkeit einer Lichtdruckpresse für diesen Arbeitszweck beträgt etwa 40000 bis 50000 Postkarten pro Tag.

Die Reproduktion farbiger Originale hat an sich eine große Bedeutung, sie wächst aber in dem Maße, als es gelingt, die farbige Photographie selbst auszubilden. Wenn einmal das Problem der Farbenphotographie vollständig gelöst sein wird, wird die farbige Reproduktion dieser Originale mit Hilfe der Presse eine noch viel dringendere Forderung werden, als sie es heute schon ist.

Die Methode der Farbenreproduktion läßt sich in das späte Mittelalter zurückverfolgen. Die sogenannten Hell-Dunkel-Drucke — Claire obscure — bilden die ersten Ansätze farbiger Reproduktion. Aus ihnen hat sich dann in verhältnismäßig langsamem Tempo in Westeuropa, viel schneller in Ostasien, der sogenannte Farbenholzschnitt entwickelt, ein primitives, auch heute noch gelegentlich kultiviertes Ver-

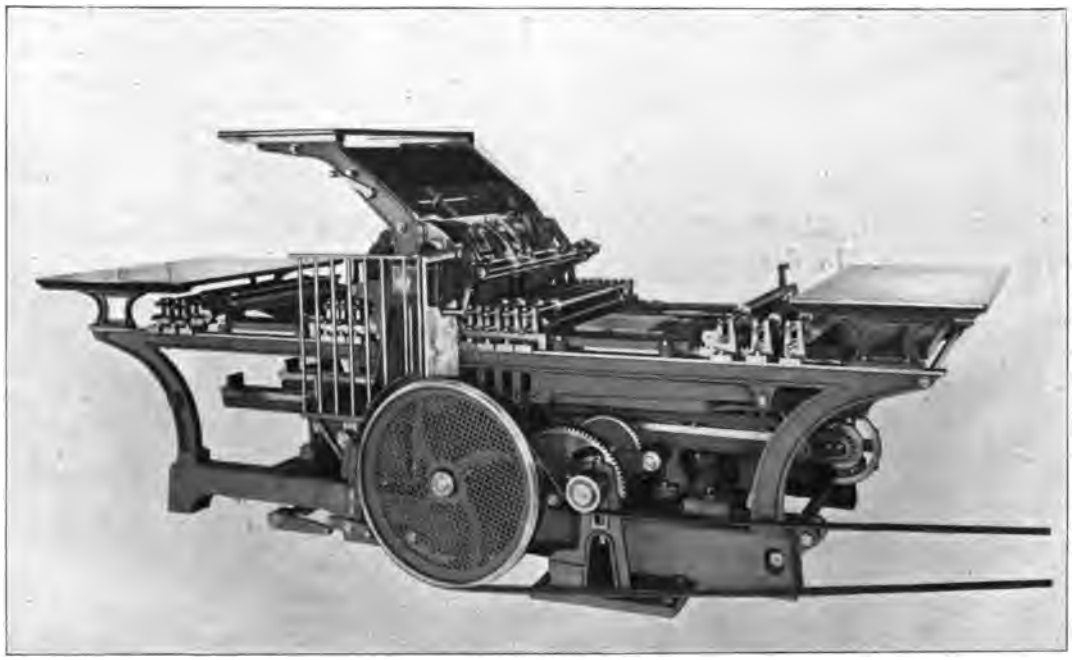


Abbildung 14. Lichtdruckschnellpresse (Hugo Koch, Schnellpressenfabrik, Leipzig-Go.).

fahren zur Reproduktion farbiger Originale. Der Farbenholzschnitt stellt nur einen Spezialfall einer Methode dar, die beispielsweise im sogenannten Öldruck und in zahlreichen anderen Verfahren ausgebildet ist, der Farbenreproduktion durch zahlreiche Tonplatten, von denen jede einzelne eine Farbennuance des Originals repräsentiert und durch deren Übereinanderdrucken unter genauer Innehaltung des sogenannten Registers, d. h. des genauen Passens, der farbige Druck entsteht. Begreiflicherweise sind diese Methoden vielfarbigen Originalen gegenüber äußerst umständlich; die große Zahl der Einzeldruckplatten, die gelegentlich dreißig übersteigt, verursacht einerseits einen übermäßigen Herstellungsaufwand, anderseits eine sehr kostspielige Drucklegung, ganz abgesehen von den technischen Schwierigkeiten und Beschränkungen, denen das Verfahren unterworfen ist.

Das Prinzip der Dreifarbenphotographie, welches wir in den ersten Kapiteln dieses Aufsatzes besprochen haben, läßt sich naturgemäß auf die Druckpresse übertragen, und wenn auch die Ausführung dieses Verfahrens ebenfalls an technisch sehr fühlbare störende Grenzen gebunden ist, so ist doch zum mindesten eine weitgehende Vereinfachung der Druckstockherstellung und des Druckes selbst möglich.

Schon die Mitte des vorigen Jahrhunderts kannte Versuche dieser Art, die in ihren letzten Fundamenten sogar auf Newton zurückgehen; aber erst die Wende der siebziger und achtziger Jahre brachte die ersten technisch durchgebildeten Verfahren, an deren Vervollkommnung rastlos bis heute gearbeitet worden ist. Das Prinzip an sich ist überaus einfach. Reichen, wie wir es früher gesehen haben, drei Grundfarben in ihrer Mischung aus, alle denkbaren Farbentöne wiederzugeben, so muß dies auch bei einem in den drei Grundfarben passend ausgeführten Zusammendruck der Fall sein, natürlich unter der Voraussetzung, daß die Farbmischung sich technisch verwirklichen läßt, was auf das Problem des Druckes angewandt sagen will, daß die

einzelnen Farben durchsichtig genug sind, um beim Übereinanderdruck zu gleichmäßiger Geltung zu kommen, gleichgültig, welche von den Farben zu oberst und welche zu unterst gedruckt wird. Unter dieser Voraussetzung muß es möglich sein, durch Übereinanderdrucken dreier Farben unter Zuhilfenahme des weißen Papiergrundes nach den Prinzipien der sogenannten subtraktiven Synthese naturfarbige Drucke zu erzeugen. Dies zugrunde gelegt handelt es sich darum, klarzustellen, wie es möglich ist, auf rein chemisch-optischem Wege drei Druckformen zu erzeugen, welche, in drei Grundfarben übereinandergedruckt, die richtigen Mischfarben zustande kommen lassen. In der Tat ist diese Aufgabe lösbar und heute schon in einer technisch recht vollendeten Weise durchgeführt. Die farbigen Illustrationen beispielsweise unseres Werkes sind nach diesem Prinzip hergestellt.

Erzeugt man ein Negativ nach irgendeinem farbigen Original durch ein gefärbtes Medium (Filter) hindurch, welches die eine Grundfarbe vollständig absorbiert, so erhält man eine Platte, welche, in der Grundfarbe später gedruckt, die Anteile des Originals an dieser Grundfarbe richtig wiedergibt. Beispielsweise wird, falls wir eine Aufnahme durch ein Orangefilter herstellen, welches also alle Farben mit Ausnahme des Grünblaus und Violetts hindurchläßt, ein Negativ entstehen, welches, mit einer blauen Farbe gedruckt, alle Stellen des Originals, welche Blau enthalten, wiedergibt. Wählen wir daher als Filterfarben drei zu den physiologischen Grundfarben komplementär gefärbte durchsichtige Farbstoffe, so erhalten wir drei konturengleiche, aber in ihren Tonwerten ganz verschiedene Negative, welche die Druckstöcke für die ihnen entsprechenden Farben darstellen müssen.

Das hier geschilderte Verfahren ist prinzipiell nicht leicht verständlich, es läuft auf den Satz hinaus, daß bei jeder der Teilaufnahmen diejenige Farbe wirken muß, welche der später zu benutzenden Druckfarbe fehlt. Ein sehr anschauliches Beispiel wird dieses Prinzip wenigstens bestätigen. Gesetzt den Fall, wir wollten einen gewöhnlichen schwarzen Kupferstich reproduzieren, und zwar derart, daß die Reproduktion dem Original in der Farbe vollkommen entspricht, so müßten wir eine Platte anwenden, welche für die Druckfarbe des Kupferstiches unwirksam ist, in diesem Fall also für Schwarz, dagegen für die Farbe des Kupferstiches, die im Druck nicht drucken soll, d. h. in diesem Fall also das Weiß, empfindlich sein muß. In der Tat müssen wir so verfahren, denn wenn wir mit einer weiß-empfindlichen Platte ein Negativ des Kupferstiches aufnehmen und dieses Negativ dann mittels schwarzer Druckfarbe drucken, entsteht eine faksimiletreue Reproduktion. Im Dreifarbendruck verfährt man demgemäß folgendermaßen. Es werden durch drei Filter, ein orangerotes, ein blaugrünes und ein blauviolettes, drei konturengleiche Aufnahmen des farbigen Originals erzeugt, die man entweder nacheinander oder gleichzeitig macht. Letzteres läßt sich schwer ohne Wahl recht komplizierter Mittel ausführen, und deswegen zieht man im allgemeinen die erste Möglichkeit vor. Diese drei Teilnegative werden jetzt nach irgendeinem der vorbeschriebenen Verfahren in Druckstöcke verwandelt. Man kann sich hierfür natürlich an sich ebensogut der Autotypie wie des Lichtdruckes oder der Heliogravüre bedienen, und die so gewonnenen Druckplatten dienen nun als Teilplatten zur Herstellung des Farbendruckes derartig, daß sie mit den Farben blaugrün, purpurrot und gelb übereinandergedruckt werden. Dann muß, wenn alle vorhin angedeuteten Bedingungen tatsächlich erfüllt worden sind, ein brauchbares Bild entstehen, welches dem Original in bezug auf Farbe und Zeichnung gleichwertig ist.

Nun ist aber leider die Erfüllung dieser Bedingungen nicht vollkommen möglich; die Schwierigkeiten, die sich hier entgegenstellen, sind wirklich sehr groß. Einmal ist

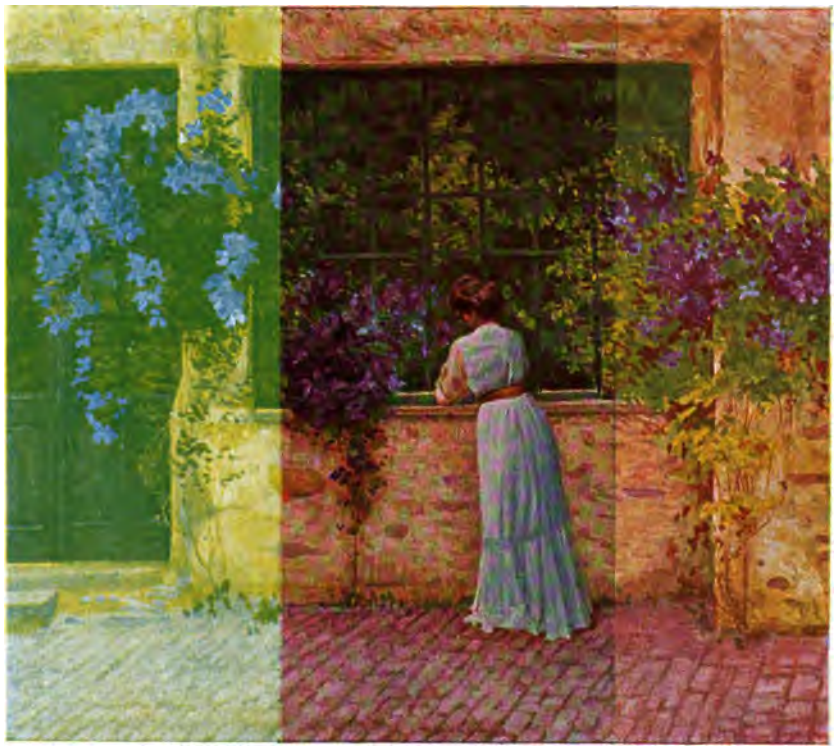


Abbildung 15. Entstehung eines Vierfarbendruckes.

es selbstverständlich erforderlich, daß nach Einschaltung des gefärbten Filters die Platten für die von dem Filter durchgelassenen Strahlen tatsächlich empfindlich sind und diese gleichmäßig zur Wirkung kommen lassen. Wir müssen also über farbenempfindliche Platten ganz besonderer Art verfügen. Ferner müssen die drei entstandenen Negative, abgesehen von ihrer Tonwertsverschiedenheit, im Charakter vollkommen gleichartig sein. Ist dies nicht der Fall, so kommen die Abweichungen als Farbenfehler im Gesamtresultat zum Ausdruck. Sodann muß bei der Reproduktion im Druckstock die Abstufung der Halbtöne vollkommen der der Originaltöne entsprechen. Wir haben nun bereits früher gesehen, daß dies bei den Reproduktionsverfahren nicht mit Strenge gilt; so erörterten wir beispielsweise, daß in der Autotypie ein sehr komplexer Zusammenhang zwischen den Tonwerten des Originals und der Reproduktion besteht, und daß im Lichtdruck die Tonwerte der Platte sich mit deren Feuchtungszustand verändern. Schließlich muß im Druck die Sättigung des Farbenauftrags eine gleichmäßige sein. Jede Platte muß gewissermaßen mit demselben optischen Farbenquantum gedruckt und der Farbenauftrag auch innerhalb der Plattenfläche selbst überall ein vollkommen gleichmäßiger sein.

Jedenfalls ist die Erfüllung all dieser Bedingungen in gleichmäßig vollkommener Weise bis heute noch nicht möglich, und daraus resultiert die Notwendigkeit, an den fertigen Druckplatten, wie sie durch den rein photomechanischen Prozeß entstanden sind, Korrekturen im Sinne der Tonwerte anzubringen, Korrekturen, die also der Retusche in der Schwarzphotographie entsprechen würden. Tatsächlich muß man von diesen Hilfsmitteln bei der photomechanischen Farbenreproduktion einen sehr weitgehenden Gebrauch machen, und zwar geschieht dies in der Praxis in viel umfang-

reicherem Maße, als es bei dem wissenschaftlichen Stande der Technik notwendig wäre, da die Praxis vielfach wissentlich eine Reihe von Bedingungen unerfüllt läßt und unerfüllt lassen muß, weil die strenge Erfüllung mehr Kosten und Schwierigkeiten machen würde als die nachträgliche Retusche.

Ein weiteres Mittel, um zu einem praktisch möglichst brauchbaren Resultat zu kommen, ist die Verwendung einer sogenannten Schwarzplatte in Verbindung mit den drei Farbenplatten. Es kommt so das als Vierfarbendruck bezeichnete Verfahren zur Anwendung, bei dem die schwarze Überdruckplatte einmal die Aufgabe erfüllt, die beim größeren Auflagendruck gelegentlich unvermeidlichen Störungen des ungenügenden Passens liebevoll zu verdecken, sowie zweitens ein neutrales Schwarz mit Sicherheit herauszubringen, das durch das Übereinanderdrucken der drei Farben nur dann rein entsteht, wenn die Farbmengen beim Druckvorgang sehr sorgfältig abgestimmt sind und die Negative die richtigen Deckungsverhältnisse besitzen. Diese Benutzung der vierten schwarzen Platte hat auch bei unseren Farbenreproduktionen in diesem Buche stets Verwendung gefunden. Allerdings kann nicht bestritten werden, daß diese Methode wissenschaftlich durchaus fehlerhaft und technisch auch nur dort gerechtfertigt erscheint, wo man sie aus anderen Gründen nicht entbehren kann. Der reine Dreifarbendruck wird immer farbenprächtiger und naturwahrer sein als der Vierfarbendruck, dessen Farben immer einen Stich ins Schwere und Schwärzliche besitzen müssen. Drucktechnisch aber ist der Vierfarbendruck unzweifelhaft das bequemere und auch wesentlich leistungsfähigere Verfahren.

Wir haben vorstehend ausgeführt, daß die Herstellung von Dreifarbendruckplatten nach jedem beliebigen Halbtonreproduktionsverfahren erfolgen kann. Die Praxis aber hat eine Auswahl nach Zweckmäßigkeitsgründen getroffen, die zugunsten der Autotypie für diese Verfahren ausgefallen ist. Tatsächlich werden heute fast alle Dreifarbenreproduktionen in Autotypie hergestellt, weil dieses Verfahren sich am besten nachträglich beeinflussen läßt und auch seiner sonstigen Bequemlichkeit wegen für den Zweck am vorteilhaftesten ist. Zwar werden auch zahlreiche Dreifarbenlichtdrucke hergestellt, und die Resultate dieser Technik sind wesentlich schöner als die des Dreifarbenbuchdrucks, aber die Kostspieligkeit auch ungleich höher. Während im regelmäßigen Arbeitsgang im Dreifarbenbuchdruck durch Autotypie kaum erhebliche Ausschußmengen entstehen, ist es im Lichtdruck unmöglich, ohne einen erheblichen Prozentsatz fehlerhafter Drucke zu reproduzieren, so daß nur da, wo allein die Qualität, nicht aber der Preis des Erzeugnisses in Frage kommt, Dreifarbenlichtdruck gewählt werden kann. Der farbige Kupferdruck schließlich hat kaum Eingang in die Praxis gefunden. Hier liegen die Schwierigkeiten hauptsächlich in den hohen Anforderungen an die Festigkeit des Druckpapiers, welches der Beanspruchung durch den dreimaligen Kupferdruck sich nur schwer gewachsen zeigt und meist infolge des schon beim zweiten Druck auftretenden „Rupfens" fehlerhafte Drucke liefert. —

Die vorstehenden Ausführungen ermangeln an vielen Stellen des Eingehens auf an sich wichtige Fragen. Es ist aber nicht möglich, auf so beschränktem Raum das fast unübersehbar große Gebiet der modernen photomechanischen Verfahren auch nur annähernd zu erschöpfen. Es hat dem Verfasser mehr daran gelegen, die allgemeinen Gesichtspunkte, als die technischen Einzelheiten zu entwickeln und vor allen Dingen beim Leser wenigstens ein grundlegendes Verständnis dieser so interessanten und für die Kultur wichtigen technischen Arbeiten zu wecken.

DIE TECHNISCHEN MASZNAHMEN DER GROSZ-FABRIKATION

VON E. HUHN

1. DIE EINFÜHRUNG DES SCHNELLSCHNITTSTAHLS

Die Besucher der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1900 berichteten über Versuche mit einem Werkzeugstahl, dessen Schnittfähigkeit die bis dahin bekannten Werkzeugstähle in einem Maße übertraf, daß man diese Berichte zuerst für übertrieben hielt oder an irgendeinen Humbug glaubte. Dieser neue Stahl ist in der Folge Schnellschnittstahl oder Chrom-Wolframstahl genannt. Die erste Bezeichnung verdient er vollauf, denn er gestattet bei der Bearbeitung von Metallen Schnittgeschwindigkeiten, die man vor dem Jahre 1900 nur bei der Bearbeitung von Messing, Bronze oder Holz gewohnt war. Die zweite deutet auf die Legierung mit Wolfram (Wo) und Chrom (Cr) hin, denn dieser Stahl hat einen Wo-Gehalt bis zu 20%, und seine Schnittfähigkeit wächst im allgemeinen mit seinem Wo-Gehalt.

Schon in den letzten Jahren des vorigen Jahrhunderts hatte man in dem Bestreben, die Arbeitslöhne durch vergrößerte Schnittfähigkeit des Werkzeugstahls zu reduzieren, die sogenannten selbsthärtenden Stähle erfunden. Diese Selbsthärter, nach ihrem Erfinder auch Mushetstahl genannt, hatten die Eigenschaft, daß sie durch langsames Abkühlen aus der Härtetemperatur von selbst „hart", d. h. schneidfähig wurden. Obwohl ihre Schnittfähigkeit die bis dahin gebräuchlichen reinen Kohlenstoffstähle bei weitem übertraf, so reichte sie doch nicht an die der Schnellschnittstähle heran, vor allen Dingen hatten sie aber den Nachteil, daß an sich ganz gleich legierte Stähle sich sehr ungleich härteten, ja, daß die Härte manchmal aus bisher unaufgeklärten Gründen überhaupt ausblieb. Dieser Umstand war natürlich ein starkes Hindernis für die allgemeine Einführung der „Selbsthärter".

Die Unsicherheit beim Härten mag eine der Hauptursachen für die Experimente gewesen sein, die zur Erfindung des Schnellschnittstahls führten, als im Jahre 1898 die beiden Amerikaner Taylor und White in dem Bestreben, die Leistungsfähigkeit der Werkstätten der Betlehem Steel Works zu erhöhen, zu diesem überraschenden Resultat kamen.

Die Einführung des Wolframstahls vollzog sich seit 1900 in wenigen Jahren, und seine Verwendung zur Herstellung schneidender Werkzeuge ist seit dem Jahre 1905 fast allgemein geworden. Dieser kurze Zeitraum von kaum fünf Jahren genügte, um in der ganzen Metallbearbeitung eine ungeheure Umwälzung vorzubereiten, da die Betlehem Steel Works ihre Erfindung nicht zum Patent führen konnten. Wäre das geschehen, und hätte dieses Stahlwerk auf die Herstellung durch Patent ein Monopol erlangt, so wäre die allgemeine Einführung vielleicht heute noch nicht vollzogen. So aber schritten sofort alle nennenswerten Stahlwerke zur Fabrikation des neuen Stahls, und durch die Konkurrenz wurde nicht nur die Leistungsfähigkeit desselben erhöht, sondern auch sein Preis regulierte sich in Grenzen, die die Rentabilität bei seiner Verwendung sicherten.

Die große Leistungsfähigkeit des Schnellschnittstahls (Abbildung 1) beruht im wesentlichen auf zwei Eigenschaften. Seine Härtetemperatur ist viel höher als die des Kohlenstoffstahls, sie liegt im Mittel ungefähr bei 1250° C, und daher ist er auch gegen die Wärme, die sich bei der Spanabnahme bildet, sehr viel unempfindlicher als Kohlenstoffgußstahl, dessen Härtetemperatur ungefähr bei 750° C liegt. Selbst eine Erwärmung der Schneidkante bis zur Rotglühhitze übt auf die Schneidfähigkeit nur geringen Einfluß aus. Die zweite wertvolle Eigenschaft besteht in seiner großen Festigkeit, die ihn befähigt, hohen Schnittdrucken zu widerstehen. Sein Bruch zeigt ein außerordentlich feines, sammetartiges Gefüge.

Die folgende Tabelle zeigt die Zusammensetzung verschiedener bekannter Schnellschnittstähle.

Stahlsorte	Gehalt an Cr %	Wo %	C %	Mn %	Si %
Engl. Novostahl	2,62	17,80	0,66	0,31	0,35
Rapidstahl von Gebr. Böhler	5,34	14,33	0,56	0,14	0,16
„ „ Lindenberg .	4,75	16,87	0,62	0,24	0,21

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß neben einem geringen Mangan- und Siliziumgehalt die Gehalte an Chrom und Wolfram sehr hoch sind. Ferner, daß unter Schnellschnittstahl nicht ein Stahl von bestimmter Zusammensetzung zu verstehen ist; vielmehr können die Prozentsätze der Legierungen in weiten Grenzen variieren. Außerdem spielt das Herstellungsverfahren und die dadurch bedingte Härtefähigkeit eine bedeutende Rolle.

2. DER EINFLUSZ DES SCHNELLSCHNITTSTAHLS AUF DEN WERKZEUGMASCHINENBAU

Die Schnittfähigkeit des Kohlenstoffgußstahls war, wie schon angedeutet, in der Hauptsache von der Wärmeentwicklung beim Zerspanen abhängig. Sie ließ bereits bei einer Temperatur von ca. 180° C nach und hörte bei ca. 350° überhaupt auf. Die günstigste Schnittgeschwindigkeit betrug bei Bearbeitung von Stahl etwa 6 m pro Minute und bei Gußeisen ungefähr 8 m. Für Schnellschnittstahl liegen heute die Schnittgeschwindigkeiten beim Schruppen am günstigsten bei 18 bis 25 m und beim Schlichten zwischen 30 und 70 m pro Minute. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Spanstärken (Vorschub) bis 3 mm betragen können. Bei geringeren Spanstärken und kleiner Schnittiefe kann die Schnittgeschwindigkeit entsprechend wachsen, so daß man bei feinen Schlichtspänen ohne Gefahr auf 75 m/min Schnittgeschwindigkeit gehen kann. Allgemein kann man die Leistungsfähigkeit des Schnellschnittstahls ca. 5—10mal so hoch bewerten als die des Kohlenstoffstahls.

Es ist vielfach angenommen worden, daß der Schnellschnittstahl einen geringeren spezifischen Energieverbrauch (P.S.-Zahl pro Stundenkilogramm Späne) besitze. Demgegenüber hat Professor H. Fischer festgestellt, daß der auf die Flächeneinheit des Spanquerschnitts bezogene Widerstand ziemlich derselbe bleibt, ob man nun Werkzeugstahl mit den hierfür üblichen niedrigen oder Schnellschnittstahl mit hohen Schnittgeschwindigkeiten verwendet, daß er insbesondere bei großen Schnittgeschwindigkeiten nicht höher ist als bei kleineren. Es mußte also zur Ausnutzung der größeren

Abbildung 1. Drehspäne der Drehbank Abbildung 39. Material: Maschinenstahl mit 60—70 kg Festigkeit p. qmm. Schnittgeschwindigkeit 20 m/min. Vorschub 2 mm. Schnittiefe 15,5 mm. Leistung der Maschine mit 2 Supporten ca. 230 kg Späne pro Stunde.

Leistungsfähigkeit des Schnellschnittstahls den erzielbaren größeren Spanmengen entsprechend mehr Kraft verbraucht werden. Diesem vergrößerten Energieverbrauch waren aber die aus dem vorigen Jahrhundert übernommenen Werkzeugmaschinenkonstruktionen nicht gewachsen, und so sahen sich mit der Wende des 19. Jahrhunderts die Konstrukteure vor die Aufgabe gestellt, die Maschinen der vergrößerten Leistungsfähigkeit des Schnellschnittstahls anzupassen.

Für das Verständnis der konstruktiven Entwicklung der Werkzeugmaschinen, speziell der Drehbänke unter dem Einfluß des Schnellstahls bedenke man, daß die in die Maschine geleitete mechanische Arbeit (Widerstände × Geschwindigkeit) nur zum Teil für die Zustandsänderung des Materials verbraucht, zum anderen Teil aber in Wärme umgesetzt wird. Die erzeugte Wärmemenge wächst nun außerordentlich mit steigender Schnittgeschwindigkeit, sie soll z. B. nach Herbert der dritten Potenz der Geschwindigkeit proportional sein. Bei einer einfachen Steigerung der Schnittgeschwindigkeit kann aber der Wärmeabfluß nicht Schritt halten, zumal ja die Abflußwege für die Wärme nicht vergrößert werden; denn eine Veranlassung zu einer Verstärkung der Maschinenmassen liegt ja deshalb nicht vor, weil der Stahldruck bei steigender Schnittgeschwindigkeit nicht wächst. Läßt man also eine Drehbank, ohne stärkere Späne zu nehmen, lediglich durch schnelleres Laufen ihre Leistung erhöhen, so genügen die Querschnittverhältnisse des Stahlhalters, des Supports usw. für die Aufnahme des Stahldrucks durchaus; sie genügen dagegen nicht mehr für die Aufnahme der Wärme. Die Temperatur wird also so lange steigen, bis ein Gleichgewichtszustand zwischen dem Zufluß von der Schneide her und dem Abfluß durch Fortleitung und Ausstrahlung an die umgebende Luft eingetreten ist, wobei zu beachten ist, daß die Ableitung und Ausstrahlung bei hohen Temperaturen in ungleich stärkerem Maße erfolgt als bei niedrigen. Wesentlich ist hierbei eine kräftige Bespülung der Schneide mit Kühlflüssigkeit, wodurch nach

Taylor selbst bei Gußeisen die Schnittgeschwindigkeit um 16—40% gesteigert werden kann!

Wenn man in dem obenerwähnten Produkt — Schnittwiderstand × Schnittgeschwindigkeit = Zerspanungsarbeit — den ersten Faktor statt des zweiten erhöht, wenn man statt der Schnittgeschwindigkeit die Schnittwiderstände durch Vergrößerung der Späne wachsen läßt, so liegen die Verhältnisse anders. Durch die größere Reibungsarbeit an der Stahlbrust infolge des Wegbiegens der kräftigeren Spanquerschnitte steigt allerdings die Wärme ein wenig, jedoch in viel geringerem Maße als bei steigender Schnittgeschwindigkeit (wobei noch eine gepflegte Schneide mit guter Schärfe und glatter Brustfläche vorausgesetzt wird, da ein schlechter Zustand derselben den in Wärme umgesetzten Arbeitsanteil außerordentlich steigen läßt). Ein fast völliger Ausgleich des etwa entstehenden Wärmeüberschusses erfolgt durch das vergrößerte Spänequantum und das Wärmeaufnahmevermögen derselben, so daß eine starke Temperatursteigerung der Schneidkante bei wachsender Spanstärke nicht stattfindet. Die wichtigste Eigenschaft des Schnellschnittstahls, seine Hitzebeständigkeit, kommt also hierbei wenig zur Geltung, und die stärkeren Spanquerschnitte können somit nicht als direkte Folge der Einführung des Schnellstahls betrachtet werden, zumal die Biegungsfestigkeit des letzteren im Vergleich zum Werkzeugstahl nicht annähernd in dem Verhältnis höher ist, wie die stündlichen Spanmengen der Stähle gestiegen sind. Große Späne sind ja auch früher gelegentlich abgedreht worden. (Beispielsweise bewahrt die technologische Sammlung der Technischen Hochschule in Hannover einen Drehspan aus dem Jahre 1861 auf, der 60 mm breit ist und einen Querschnitt von 75 qmm besitzt.) Das waren aber stets nur Versuchsresultate und keine Betriebsleistungen. Die damals stärksten Bänke waren noch wenig zur Aufnahme der hierbei auftretenden Stahldrucke geeignet, und zum Zwecke der Selbstkostenherabsetzung Spezialbänke für forcierte Leistungen zu bauen, gehörte noch nicht zu den Forderungen des Tages.

Es sei also nochmals wiederholt: Nach der Einführung des Schnellstahls nutzte man durch rascheren Lauf der Maschinen seine hohe Hitzebeständigkeit, d. h. Schneidhaltigkeit aus und nichts weiter.

Nachdem man aber damit zu einer ca. zwei- bis dreifachen Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit gekommen und die Arbeitszeit als solche entsprechend kostbar geworden, der Wettkampf um die größtmögliche Ausbringung der Werkstatt auf allen Seiten entbrannt war, lag der Wunsch nicht mehr fern, die Leistungen auch durch andere Mittel, d. h. durch Vergrößerung der Spanstärke zu steigern, trotzdem dies eigentlich mit dem Wesen des neuen Stahls wenig zu tun hatte. Insbesondere drängte sich dieser Wunsch bei der Bearbeitung von Gußstücken auf, bei denen die harte Gußkruste, harte Stellen usw. eine geringere Geschwindigkeit bedingen, als man bei homogenen Materialien (Flußeisen, Flußstahl, Gußstahl usw.) erhalten kann. Man wollte den teuren Schnellschnittstahl so viel wie möglich ausnutzen, seine Stundenleistung so sehr erhöhen wie eben angängig und vergrößerte deshalb seine Schneidkante und seinen Vorschub. Dabei fand man bald heraus, daß das Abdrehen großer Spanquerschnitte den spezifischen Schnittdruck sehr günstig beeinflußte, was ja auch ohne weiteres verständlich ist, wenn man sich vorstellt, daß es doch nicht die Aufgabe einer Drehbank sein kann, das überflüssige Material in kleine Spänchen aufzuarbeiten, sondern dasselbe so rasch als möglich abzuspalten. (Diese Erkenntnis war allerdings bereits früher hier und da ausgesprochen worden, es fehlte aber noch das Interesse für ihre praktische Verwertung.) Als Beleg können die Resultate zweier Versuche von Taylor dienen:

Schnittiefe in mm	Vorschub in mm	Spezifischer Schnittdruck in kg/qcm
4,8	0,39	20800
4,8	3,17	18100

Zur weiteren Veranschaulichung dieses Gesetzes mögen einige Zahlen dienen, welche Fischer in seinem obenerwähnten Bericht anführte. Er stellte dort verschiedene stündliche Spanmengen pro 1 P.S. bei verschiedenen Spanquerschnitten einander gegenüber.

Bei einer Schnittgeschwindigkeit von 5,8 m pro Minute betrug:

	Spanquerschnitt	Stündliche Spanmenge pro 1 P.S.
1.	5 qmm	9,7 kg
2.	15 „	14,2 „

Bei 15 m Schnittgeschwindigkeit pro Minute ergaben sich:

	Spanquerschnitt	Stündliche Spanmenge pro 1 P.S.
1.	7 qmm	10,2 kg
2.	21 „	13 „

Aus diesen Ziffern ist eine erhebliche Abnahme der Größe des spezifischen Schnittdrucks bzw. Zunahme der spezifischen Spanmenge bei steigender Spanstärke zu erkennen.

Von den beiden so gekennzeichneten Mitteln zur Vergrößerung der Verspanungsleistungen ist das erste, die Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit, nicht von tiefgehendem Einfluß auf die Gestaltung der Werkzeugmaschinen geworden. Man vergrößerte die Durchmesser der Antriebsscheiben auf der Transmission oder erhöhte die Tourenzahl der Transmission, erhöhte dadurch aber den Ausnutzungsgrad der Maschine in nur ungenügendem Maße, denn man mußte schmale dünne Späne abnehmen. Als man aber dazu überging, auf den vorhandenen Maschinen kräftigere Späne abzudrehen, stellte sich heraus, daß bei den Drehbänken das Bett, die Füße, der Spindelkasten, die Räderplatte, die Stahlhalter, der Vorschubantrieb, kurz so ziemlich jedes Konstruktionselement den vermehrten Anforderungen nicht gewachsen war. Es zeigte sich, daß die vorher für gewöhnlichen Werkzeugstahl benutzten Maschinen, die mehrere Jahre im Gebrauch, mehr oder weniger abgenutzt, aber immer noch leistungsfähig waren, bei der Benutzung von Schnelldrehstahl an irgendeiner Stelle zerbrachen. Der gewöhnliche Vorgang war der, daß man die Geschwindigkeit und den Vorschub der Maschine so sehr steigerte, bis entweder das Werkzeug oder die Maschine nachgab, und da gewöhnlich das Werkzeug der stärkere Teil war, so zerbrach eben die Maschine. Zum mindesten aber wurde der den Zahnrädern, Lagerdrucken usw. zugrunde liegende Sicherheitsgrad derart stark reduziert, daß sich die Maschine außerordentlich abnutzte, Lagerschalen und Beistelleisten ständig nachgestellt werden mußten und Festfressen ebenso wie Brüche an der Tagesordnung waren. Bei der nun erforderlichen Reparatur verstärkte man natürlich zuerst die zerbrochenen Maschinenteile und lernte so erkennen, wo die Werkzeugmaschinen ihre schwachen Stellen besaßen. Man vergrößerte die Abmessungen solcher Teile, fügte neuartige Antriebselemente ein oder verbesserte die benutzten Materialien, und durch die systematische Verwertung all dieser Lehren kam man endlich dazu, den Übergangszustand, bei dem die Reparaturen die Zeitersparnisse zunichte machten, zu überwinden. Man stellte sorgfältige Messungen des Stahldrucks an, legte die Resultate den Neukonstruk-

tionen zugrunde und lernte so die auftretenden Kräfte beherrschen. Man gelangte dahin, auch die bis dahin so vernachlässigten Werkzeugmaschinen zu harmonischen und zweckmäßigen Formen auszubilden, wie dies beispielsweise im Kraftmaschinen- und Hebezeugbau bereits längst geschehen war. Die Not war hier, wie stets, die beste Lehrmeisterin. Früher waren die Maschinen reichlich stark und wohl stets dem Werkzeug überlegen gewesen; es wurde nicht als Fehler angesehen, auch wenig beanspruchte Teile eventuell mit einem Überfluß von Material auszustatten, wenn man nur vorhandene Modelle benutzen konnte. Die Ausführung geordneter Versuchsreihen, die Untersuchung der höchsten Leistungen und die sinngemäße Übertragung der so gewonnenen Werte auf die Konstruktion der Werkzeugmaschinen wurde nicht als erforderlich angesehen. Bezeichnend für diesen Zustand ist die große Pause, die in der wissenschaftlichen Erforschung der Metallzerspanung zwischen den Versuchen Hartigs 1873 und denen Fischers 1894 bzw. Nicolsons und Taylors existiert. Seit dem Jahre 1900 haben sich die Versuche dagegen, insbesondere die hier am meisten interessierenden Versuche zur Messung des Schnittdrucks, außerordentlich gemehrt, und unter diesen besitzen insbesondere die Taylorschen Versuche (die allerdings bereits früher begonnen, aber erst auf der Pariser Weltausstellung 1900 bekannt wurden) die allergrößte Bedeutung.

Des allgemeinen Interesses wegen geben wir im folgenden die Tabelle wieder, in welcher Taylor die Resultate der drei wichtigsten Versuchsreihen zusammenfaßt:

	Resultierender spezifischer Schnittdruck in kg/qcm			Vorschubkraft	Rückdruck auf den Stahl	Einfluß der Schnittgeschwindigkeit auf den Schnittdruck
	Gußeisen	Schmiedeeisen	Stahl			
Dr. Nicolson (Manchester)	7450 bis 13200		17000 bis 23600	0–20 % des Schnittdrucks (zu wenig für die Berechnung des Getriebes!)	17–18 % des Schnittdrucks	Schnittdruck sinkt mit steigender Schnittgeschwindigkeit
Prof. Dr. Hermann Fischer	7000 bis 12000	11000 bis 16900	15900 bis 23900	Gleich dem Schnittdruck		Kein erheblicher Einfluß bemerkbar, selbst bei verdoppelter Schnittgeschwindigkeit
Fred W. Taylor (Philadelphia)	4900 bis 13900		16900 bis 20800	Gleich dem Schnittdruck		

Interessant sind auch zahlenmäßige Vergleiche der früher und jetzt üblichen Verspanungen. In den sechziger Jahren wurde eine Bank, die 5 kg pro Stunde, und vor 25 Jahren noch eine solche, die stündlich 9 kg zerspante, für außerordentlich stark angesehen. Heute sind wir bis zum 30—50fachen des letzteren Wertes gekommen, und die größte bisher wohl gebaute europäische Drehbank leistete sogar 1400 kg stündlicher Stahlspäne! Eine solche Maschine besitzt natürlich derart riesenhafte Abmessungen, daß sie nicht mehr eine normale Werkzeugmaschine, sondern eine reine Sonderkonstruktion darstellt. Ähnliche Steigerungen zeigt die verbrauchte Energiemenge, die früher 3—5, heute 10—20 und bei der erwähnten größten Maschine sogar 120 P.S. beträgt!

Man kann wohl sagen, daß der Schnellschnittstahl die Verspanungsmenge der Einheit der Stahlschneide auf das Zehnfache gesteigert hat, d. h. daß nunmehr, wenn auch nicht gerade der zehnte Teil, so doch jedenfalls bedeutend weniger Maschinen, Raum,

Transmissionsanlagen, Arbeiter und Aufsicht für die Herstellung des gleichen Arbeitsquantums notwendig sind als früher. Dazu kommen infolge der Verwendung größerer Maschineneinheiten, sorgfältigerer Durchkonstruktion der Maschinen, günstigerer Schnittwinkel, geringerer Reibung der Antriebsorgane usw. beträchtliche Ersparnisse an spezifischem Arbeitsverbrauch, d. h. an Pferdestärken pro Stundenkilogramm Späne. Hierdurch ist eine völlige Verschiebung der in die Kalkulation einzusetzenden Faktoren eingetreten. Häufig ist, wo früher ein Arbeiter mehrere Maschinen bediente, das Arbeitspensum heute so forciert, daß an jeder Maschine ein Mann voll beschäftigt ist; und während vorher als wichtigster Faktor Drehzeit und Nachschliff unter Vernachlässigung des Auf- und Abspannens entstanden war, kommt nunmehr vor allem das Auf- und Abpannen und der Nachschliff in Betracht, wohingegen die Drehzeit oft eine nur untergeordnete Rolle spielt.

DIE EINFÜHRUNG HOCHWERTIGER MATERIALIEN. Was die Erhöhung der Arbeitswiderstände durch die Einführung hochwertigerer Materialien angeht, so ist hier insbesondere der Automobilbau (der in konstruktiver Hinsicht auch durch bessere Räderwerke und Kettentriebe sehr befruchtend wirkte), in geringerem Maße auch der Luftschiff- und Flugzeugbau und die dadurch hochentwickelte Metallurgie von wesentlichem Einfluß gewesen.

Wie sehr die Ansprüche gestiegen sind, die heute an die Qualität von Konstruktionsstählen gestellt werden, geht beispielsweise aus einem Vergleich der Festigkeitszahlen hervor, die noch vor kurzer Zeit und die heute üblich sind. So besaß noch der vor etwa 15 Jahren benutzte Nickelstahl Festigkeiten von ca. 70—85, der heutige Chromnickelstahl dagegen von 80—180 kg pro qmm, und seine Anwendung hat sich auch auf solche Teile ausgedehnt, für welche früher minderwertigere Materialien durchaus genügten. Hier spricht insbesondere die Forderung der Gewichtsverminderung für Maschinenausrüstungen der Unterseeboote, Automobile, Flugmaschinen usw. mit.

Daß die durch die Bearbeitung derartig festen Materials gewaltig erhöhten Stahldrucke einen starken Einfluß auf die Entwicklung der Werkzeugmaschinenkonstruktionen erhielten, ist ein Umstand, dessen Zusammentreffen mit den obengeschilderten Einflüssen des Schnellstahls natürlich nur ein zufälliges, aber dadurch um so wirksameres war.*

3. DIE AUFGABEN DES KONSTRUKTEURS SEIT BEGINN DES XX. JAHRHUNDERTS

Das an der Drehbank gezeigte Beispiel ist typisch für sämtliche Arten der spanabhebenden Werkzeugmaschinen, denn nur solche sollen in diesen Ausführungen zur Betrachtung gezogen werden. Im Prinzip sind die Aufgaben des Konstrukteurs schon im letzten Abschnitt angedeutet: sie fordern die Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Maschinen, entsprechend der erhöhten Leistung der modernen Werkzeuge unter Berücksichtigung der Betriebssicherheit, sowie die Möglichkeit bequemer und schneller Handhabung. Hierzu tritt noch die Forderung, die infolge erhöhter Fürsorge für das leibliche Wohl der Arbeiter gestellt wird, nämlich die Verhütung von Unfällen des die Maschine bedienenden Mannes.

Die Erfüllung dieser Forderung hat den neueren Werkzeugmaschinen ein bestimmtes Gepräge verliehen, das dem aufmerksamen Beobachter nicht entgehen kann.

* Vergl. die Broschüre „Schruppdrehen", Verlag von Ludw. Loewe & Co., Berlin.

Das ganze äußere Bild der Maschinen hat sich nach gewissen Richtungen verändert, es erscheint massiger und in sich geschlossener. Die Antriebs- und Vorschubmechanismen haben durch die neuen Gesichtspunkte ein völlig verändertes Aussehen, und die Dimensionierung der einzelnen Teile ist einerseits durch die erhöhte Kraftübertragung, anderseits durch die Verwendung festerer Konstruktionsmaterialien beeinflußt worden. Dabei ist es nur zu erklärlich, daß in dem Bestreben, den Verbrauchern beim Verkauf von Maschinen möglichst viele Vorteile anführen zu können, oft über das Ziel hinausgegangen wurde, indem sowohl in der Ausführung zeitsparender Einrichtungen als auch in der Verstärkung der Mechanismen zuviel getan wurde. Es wurden dabei zwei Hauptgrundsätze nicht beachtet. Erstens, daß die einfachste Konstruktion die betriebssicherste ist, und zweitens, daß die Amortisation zeitsparender Einrichtungen im Einklang stehen muß mit den dadurch erzielten Lohnersparnissen.

Gleich zu Anfang des Jahrhunderts, als man fand, daß die Kraftübertragung auf die alten Vorschubmechanismen mittels Riemen den erhöhten Ansprüchen nicht mehr genügte, wurden diese Riemen durch Räderübertragungen ersetzt, die Stufenscheiben fielen weg, und zur Erzielung der Geschwindigkeitsstufen wurden ebenfalls Räder verwendet. Es entstand der „positive Antrieb". Folgerichtig ersetzte man dann die Hauptantriebsstufenscheibe ebenfalls durch Stufenrädergetriebe und schaffte den „Einscheibenantrieb". Diese Antriebsarten wurden durch die erzielten größeren Leistungen schnell beliebt, anderseits entstand die Frage, ob sie in allen Fällen anzuwenden seien oder die erhöhte Leistungsfähigkeit zweckmäßig auch durch andere, einfachere Konstruktionen ersetzt werden sollten, und bald bildeten sich bei Fabrikanten und Konsumenten von Werkzeugmaschinen zwei Lager, bei denen die Begriffe „Stufenscheibe" oder „Räderkasten" zu Schlagwörtern wurden. Das Richtige lag, wie immer, auch hier in der Mitte, und ich folge zur Klärung der Frage hier der überaus sachlichen Schrift des Oberingenieurs Bechstein der Firma Ludw. Loewe, Berlin.

Die beiden Antriebe bei Werkzeugmaschinen, Hauptantrieb und Vorschubantrieb, haben den Zweck, die Schnitt- resp. die Vorschubbewegung einzuleiten.

Die Schnittbewegung ist diejenige, bei welcher die Schneide des spanbildenden Werkzeugs durch das Material gegen dessen Widerstand geführt wird, wobei es gleichgültig ist, ob die Bewegung durch das Arbeitsstück selbst, wie auf der Drehbank- und Hobelmaschine, oder durch das Werkzeug, wie bei der Fräs-, Bohr-, Stoß- und Schleifmaschine, ausgeführt wird.

Die Vorschubbewegung dagegen ist diejenige Bewegung, bei welcher, bald abhängig von der Schnittbewegung, wie bei Drehbänken und Bohrmaschinen, bald unabhängig von der Schnittbewegung, wie bei Fräsmaschinen, die Werkzeugschneide in einer von der Schnittbewegung verschiedenen Richtung entweder gleichzeitig mit derselben oder in gewissen Zeitpausen während derselben so verschoben wird, wie die gewünschte Spanstärke es erfordert.

Auch hierbei ist es gleichgültig, ob das Arbeitsstück oder das Werkzeug die Bewegung ausführt. Auch die Vorschubbewegung erfolgt meist gegen den Widerstand des Materials; doch kommt es auch vor, daß sie sich ohne jeden Widerstand vollzieht.

Beide Bewegungen haben nun in der Hauptsache entweder geradlinige oder kreisförmige Richtung, oder sie lassen sich zumeist auf die kreisförmige zurückführen, weil sie entweder durch die Transmissionswelle oder die Welle rotierender Motoren erzeugt wird.

Sollen nun die Bewegungen bei gleichbleibender Geschwindigkeit erfolgen, so haben wir es mit gleichförmigen Bewegungen zu tun. Für diese Bewegungen gelten die Gesetze der nachstehenden Formeln:

$$s = vt;\ v = \frac{s}{t};\ t = \frac{s}{v},$$

worin s den in t Sekunden zurückgelegten Weg und v die Geschwindigkeit pro Sekunde bedeutet.

Setzt man für s, indem man die Schnittbewegung auf eine kreisförmige zurückführt, $d\pi n$, worin d den Durchmesser des Kreises bedeutet, an welchem die Werkzeugschneide arbeitet, und n die Anzahl der Umdrehungen pro Minute, so erhält man die Geschwindigkeit pro Minute durch die Gleichung

$$v_m = \frac{d\pi n}{t} 60 \text{ oder, da } t = 60,$$

$$v_m = d\pi n.$$

Die Schnittgeschwindigkeiten sind nun in der Hauptsache abhängig von der Beschaffenheit des zur Zerspanung kommenden Materials und von der Beschaffenheit des dazu benutzten Werkzeugs, außerdem von verschiedenen anderen Faktoren, und sind daher entsprechenden Schwankungen unterworfen. In einer Tabelle haben wir die für v_m aus der Praxis ermittelten Werte für verschiedene Materialien und für zwei verschiedene Arten von Werkzeugstahl zusammengestellt. Es zeigt sich, daß die Schnittgeschwindigkeiten für die vier Materialien Gußeisen, Maschinenstahl, Schmiedeeisen und Messing sich in Grenzen von

5—28 m pro Minute beim Bohren,
6—40 m „ „ „ Drehen,
12—60 m „ „ „ Fräsen

bewegen, wenn man Werkzeuge aus gewöhnlichem Werkzeugstahl benutzt; die Werte erhöhen sich auf

12—40 m pro Minute beim Bohren,
14—52 m „ „ „ Drehen,
25—80 m „ „ „ Fräsen,

wenn man aus Schnellschnittstahl gefertigte Werkzeuge verwendet.

	Schnittgeschwindigkeiten in m/min.					
	Gew. Werkzeuggußstahl			Schnellschnittstahl		
	Bohren	Drehen	Fräsen	Bohren	Drehen	Fräsen
Maschinenstahl	5—9	6—10	12—16	12—18	14—20	25—38
Gußeisen . .	6—8	7—9	13—18	14—20	16—24	30—40
Schmiedeeisen	7—9	10—13	20—25	18—25	22—32	45—60
Messing . . .	20—28	32—40	50—60	32—40	45—52	70—80

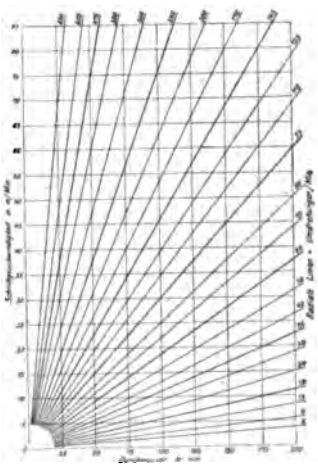


Abbildung 1a. Diagramm für die minutlichen Tourenzahlen, Schnittgeschwindigkeiten und Durchmesser.

Für die Vorschubgeschwindigkeiten gelten dieselben Regeln wie für die Schnittgeschwindigkeiten: soweit es sich um gleichförmige Bewegungen handelt; sie sind ebenfalls abhängig von der Beschaffenheit des zur Verarbeitung gelangenden Materials und des dabei verwendeten Werkzeugs sowie von der Schnittgeschwindigkeit. Jedoch verliert die Vorschubgeschwindigkeit ihre Bedeutung für die vorliegende Frage dort, wo ihre Bewegung keine kontinuierliche, sondern eine ruckweise ist, wie bei Hobel- und Stoßmaschinen oder auch bei älteren Drehbänken.

UMLAUFZAHLEN. Den verschiedenen Werten für v Rechnung zu tragen, bildet die Aufgabe des Konstrukteurs einer Werkzeugmaschine; er muß berücksichtigen, daß

der Arbeitsspindel oder Antriebswelle die entsprechenden Umlaufzahlen erteilt werden können.

Dies wäre nun nicht schwierig, wenn er außer den verschiedenen Werten für v, die, wie wir aus der Tabelle gesehen hatten, in bestimmten Grenzen festgelegt sind und berücksichtigt werden können, nicht auch noch die verschiedenen Werte der Durchmesser d zu beobachten hätte. Diese Werte sind nicht vorher festzulegen, sondern kommen in allen möglichen Variationen und Kombinationen vor und beeinflussen wiederum die Umlaufzahlen.

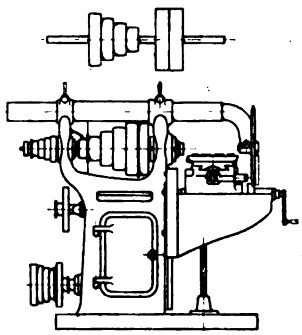


Abbildung 2. Stufenscheibenantrieb.

Wenn für ein bestimmtes v und einen Durchmesser d, nach der Formel $v = d\,\pi\,n$,

$$n = \frac{v}{d\,\pi}$$

ist, so muß für einen anderen Durchmesser $D = 2\,d$

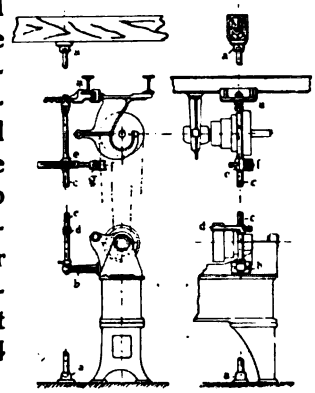
$$n_1 = \frac{v}{2\,d\,\pi}$$

werden, d. h. die Umlaufzahl darf, wenn sich die Schnittgeschwindigkeit nicht verändern soll, für D nur halb so groß sein.

Um für gegebene Werte von v und d die richtige Umlaufzahl n oder umgekehrt aus n und d den Wert für v zu finden, benutzen wir das Diagramm (Abbildung 1 a). Die horizontalen Geraden bedeuten die Schnittgeschwindigkeiten pro Minute, die Vertikalen die verschiedenen Durchmesser von 5 zu 5 mm und die Diagonalen die Umlaufzahlen.

Diejenige Diagonale, welche durch den Schnittpunkt einer horizontalen und einer vertikalen Geraden geht, gibt ohne weiteres die zugehörige genaue Umlaufzahl an und umgekehrt.

Mit den hier eingezeichneten Diagonalen werden natürlich bei weitem nicht alle Umlaufzahlen gefunden werden, welche den in diesem Diagramm vorgesehenen Kombinationen von verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten und Durchmessern (es sind ihrer 3400, wenn man nur ganze Meter bei den ersteren und je 5 mm bei den letzteren berücksichtigt) entsprechen müßten. Man kann sich bei der Aufsuchung einer für irgendeine Kombination nötigen Umlaufzahl aber leicht durch Abschätzung helfen. Will man beispielsweise die Umlaufzahl für eine Schnittgeschwindigkeit von 20 m pro Minute und einen Durchmesser von 100 mm aus dem Diagramm entnehmen, so findet man den Schnittpunkt dieser beiden Werte etwas unter der Mitte zwischen den beiden Diagonalen für die Umlaufzahlen 60 und 70, man kann also mit ziemlicher Genauigkeit die zu findende Zahl auf 63 bis 64 annehmen; die Rechnung nach der Formel $n = \frac{v}{d\pi}$ ergibt 63,7.



Abbild. 3. Riemenumleger.

Nicht so einfach macht es sich aber in der Praxis, für jeden vorkommenden Fall innerhalb des Arbeitsbereichs einer Werkzeugmaschine die genau richtige Umlaufzahl zu erhalten, denn das würde heißen, die Maschine für eine unendlich große Anzahl von Umlaufzahlen einrichten, man müßte über eine unabgestufte Reihe von Umlaufzahlen verfügen können.

Diesem Ideal ist man indessen nur bei wenigen Werkzeugmaschinen nahegekommen, während man sich sonst fast durchweg mit den stufenförmigen Reihen begnügt.

Zur Erzeugung der stufenförmigen Umlaufzahlenreihen dienten bisher die durch Riemen angetriebenen Stufenscheiben (Abbildung 2). Die größere Stufenscheibe auf der Arbeitsspindel in Verbindung mit einer Gegenstufenscheibe am Deckenvorgelege dient für die Schnittbewegung, die kleineren dienen für die Vorschubbewegung. Dabei sind die Abstufungen zweckmäßig so gewählt, daß die Umlaufzahlen in geometrischer Reihe aufeinander folgen.

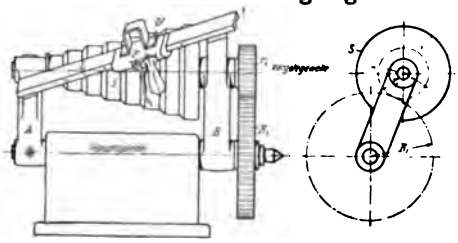


Abbildung 4a. Riemenwechsel durch Gabel auf abgeschrägten Stufen.

Zum Wechseln der Umlaufzahlen hat man den Riemen von der einen auf die andere Stufe zu verschieben, und dies ist eine schwache Seite dieser Maschinenelemente. Wenn es auch nicht schwierig ist, die schmaleren Riemen auf den Vorschubstufenscheiben leicht von Hand während des Betriebes zu wechseln, so ist dies bei den Hauptantrieben nicht immer möglich und zuweilen gefährlich. Man muß schon eine besonders dafür geeignete Riemenstange verwenden, namentlich um den Riemen auf der Stufenscheibe des Deckenvorgeleges umzulegen, was, wenn der Wechsel häufiger während der Arbeit erfolgen muß, zeitraubend und lästig ist. Es wird deshalb von Arbeitern häufig versäumt, sich durch diese Arbeit die besser passende Umlaufzahl für eine bestimmte Arbeitsoperation zu verschaffen, namentlich wenn die Arbeitsoperation nur kurze Zeit dauert, weil dann der zu erwartende Gewinn an Zeit durch das Umlegen des Riemens wieder aufgehoben wird.

Man hat deshalb Einrichtungen konstruiert, welche es dem Arbeiter ermöglichen, das Riemenumlegen ohne Zuhilfenahme einer Stange schnell und ohne Gefahr zu bewerkstelligen. Es sind dies Riemenumleger (Abbildung 3), die an fast allen Betriebsmaschinen benutzt werden können.

Eine bessere Einrichtung, den Riemen schnell von einer Stufe auf die andere zu bringen, haben wir an den Rundschleifmaschinen, Sytem Norton, sowohl für den Antrieb des Werkstückes (Abbildung 4a) wie für die Tischbewegung (Abbildung 4b), durch die an der Maschine angebrachten, leicht zu handhabenden Riemengabeln.

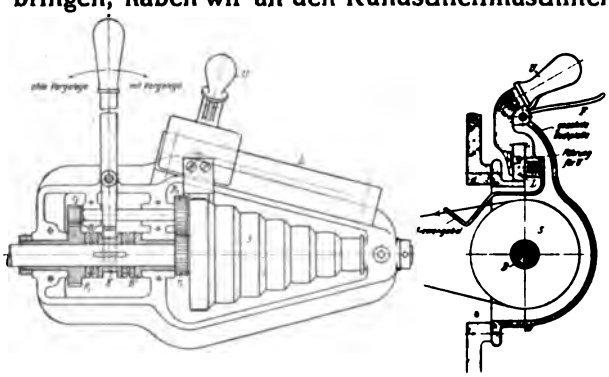


Abbildung 4b. Riemenwechsel und Räderwechsel.

Durch die Stufenscheiben allein gewinnt man nur immer so viel verschiedene Umlaufzahlen wie Stufen vorhanden sind. Bei mittleren und größeren Maschinen ist die so erhaltene Anzahl von vier oder fünf Geschwindigkeiten jedoch nicht ausreichend, man verbindet daher mit der Stufenscheibe in der Regel noch ein ausrückbares Rädervorgelege, wodurch man die doppelte Anzahl von Umlaufzahlen erhält, und die dreifache Anzahl, wenn man zwei verschiedene Räderübersetzungen vorsieht. Man kann die Reihe noch weiter vergrößern, indem man der Deckenvorgelegewelle zwei oder auch drei verschiedene Umlaufzahlen erteilt.

Die in Abbildung 2 gezeigte Fräsmaschine hat für den Antrieb der Schnittbewegung eine vierstufige Scheibe und ein ausrückbares Rädervorgelege, so daß man 2×4 Umlaufzahlen erhält. Für den Vorschub sind zwei Scheiben mit vier Stufen und

zwei Scheiben mit zwei Stufen vorgesehen; die ersteren lassen sich noch vertauschen, so daß wir zunächst eine Reihe von acht und nach Umlegen des Riemens auf der zweistufigen Scheibe noch einmal acht Umlaufzahlen für jede Umlaufzahl der Arbeitsspindel erhalten. Diese hat acht verschiedene Umlaufzahlen, so daß im ganzen $8 \times 16 = 128$ verschiedene Umlaufzahlen für den Vorschubantrieb möglich sind. Leider kann man eine große Anzahl davon nicht verwenden, wie wir unten zeigen werden.

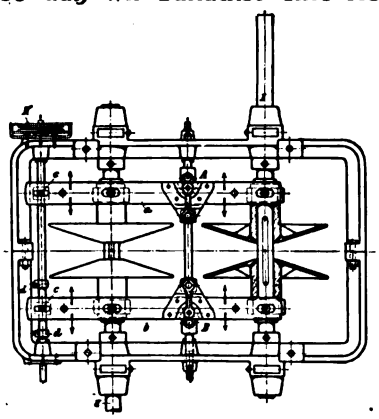


Abbildung 5. Geschwindigkeitswechsel durch Reibscheiben.

Jedenfalls muß man bestrebt sein, innerhalb der für eine Maschine festgelegten minimalen und maximalen Umlaufzahlen eine große Anzahl anderer zu gewinnen, damit man bei allen vorkommenden Schnittgeschwindigkeiten und Durchmessern die richtige einstellen kann.

Wie schon gesagt, wäre deshalb eine stufenlose Reihe, d. h. die Möglichkeit, zwischen Minimal- und Maximalumlaufzahl jede beliebige andere Umlaufzahl einzustellen, das zu erstrebende Ideal, und es hat auch nicht an Versuchen gefehlt, dieses Ziel zu erreichen oder ihm wenigstens nahezukommen.

Man hat Deckenvorgelege konstruiert, bei welchen zwei Kegelscheiben auf den Wellen einander genähert oder voneinander entfernt werden können, wodurch der eigens dafür geformte Riemen bald am äußeren größten und bald am inneren kleinsten Durchmesser laufen kann. Hierdurch entsteht zwischen beiden äußersten Riemenlagen durch Verschieben der Kegelscheibe die stufenlose Reihe (Abbildung 5).

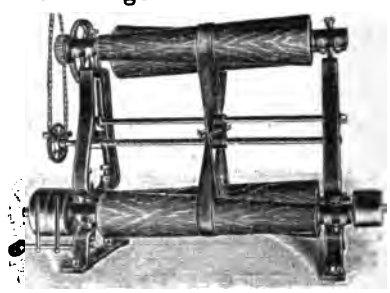


Abbildung 6. Geschwindigkeitswechsel durch konische Trommeln am Deckenvorgelege.

Bei einem anderen Deckenvorgelege (Abbildung 6) hat man parallel gelagerte konische Trommeln verwendet, auf welchen der Riemen zwangläufig so verschoben wird, daß, wenn er auf der einen Trommel auf dem größten Durchmesser, er auf der anderen auf dem kleinsten Durchmesser läuft und umgekehrt. Bei einer anderen Konstruktion (Abbildung 7) hat man die konischen Trommeln auf einer Achse gelagert; der Riemen wird vermittelst seitlich verschiebbarer Leitrollen auf die gewünschten Durchmesser geführt. Auch bei diesen beiden Deckenvorgelegen kann man von der kleinstmöglichen bis zur größtmöglichen Umlaufzahl jede beliebige andere stufenlos einstellen. Diese Konstruktionen haben sich jedoch in der Praxis wenig Verbreitung verschafft, da ihre Riemenläufe ungünstig sind und man an der Decke überhaupt nicht gern umfangreiche und komplizierte Triebwerke anbringt.

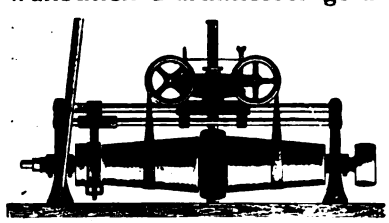


Abbildung 7. Geschwindigkeitswechsel durch 2 Paar Doppelkronen am Deckenvorgelege.

Man hat dann auch versucht, die Elemente für die Erzeugung der stufenlosen Reihe von Umlaufzahlen in die Maschinen selbst hineinzubauen, wie wir es in Abbildung 8 bei dem Spindelkasten einer Drehbank sehen, bei welchem Kegelscheiben zur Anwendung gekommen sind. Diese Konstruktion beansprucht jedoch, wenn man auf nennenswerte Geschwindigkeitsänderungen Anspruch machen will, sehr viel Raum und wird sich deshalb bei den gangbaren Werkzeug-

maschinen nicht einführen. Nur bei einfacheren Maschinen, wie z. B. Abstechmaschinen, ist man dem Ideal der stufenlosen Reihe nähergekommen, indem man die Umlaufzahlen mit dem Vorgehen des Abstechstahls stetig wachsen läßt, um möglichst gleiche Schnittgeschwindigkeit während eines Abstichs zu behalten. Bei der Abstechmaschine (Abbildung 9) wird dies dadurch erreicht, daß die jeweilige Entfernung des Abstechsupports von der Mitte der Arbeitsspindel die Friktionswellen für den Antrieb der Arbeitsspindel durch Kettenübertragung beeinflußt und somit die Umdrehungszahlen selbsttätig steigert, wenn der Stahl nach der Mitte vordringt und dabei den Durchmesser immer mehr verkleinert.

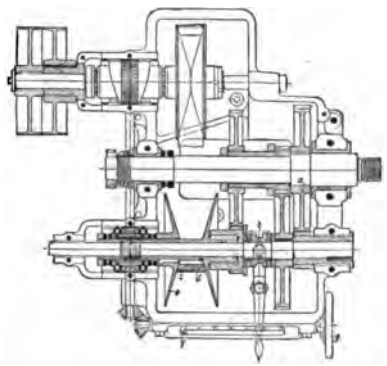


Abbildung 8. In den Spindelkasten eingebautes Reibscheibengetriebe.

Freilich erreicht man eine ganz gleiche Schnittgeschwindigkeit auch hier nicht, denn man kann eine Arbeitsspindel von über 150 mm Durchmesser schließlich nicht mit mehreren tausend Umdrehungen pro Minute laufen lassen, was ja nötig wäre, wenn der Abstechstahl bis dicht an die Mitte vorgedrungen ist. Bei unserer Abstechmaschine wechseln auf dem gesamten Wege des Abstechsupports die Umlaufzahlen im Verhältnis wie 1:3.

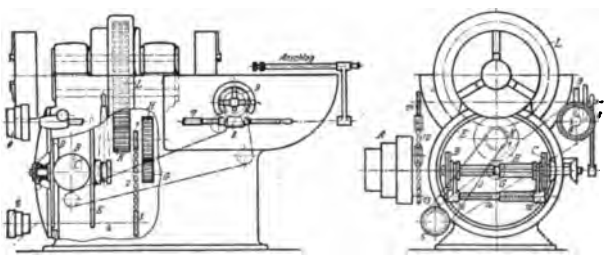


Abbildung 9. Reibscheibengetriebe ohne Riemen.

Ein weiteres Beispiel für eine stufenlose Reihe von Umlaufzahlen haben wir im Vorschubmechanismus der Rundfräsmaschine (Abbildung 10). Die Vorschubbewegung, welche hier eine kreisförmige ist, wird durch ein Reibscheibengetriebe erzeugt, welches durch Wechselräder von der Welle des Rädervorgeleges für die Arbeitsspindel angetrieben wird und seine Bewegung weiter durch andere Getriebe schließlich auf die Aufspannspindel und somit auf das Werkstück überträgt.

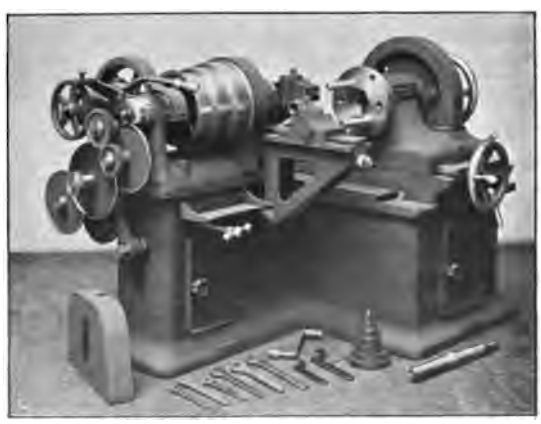


Abbildung 10. Reibscheiben mit selbsttätiger Einstellung.

Ist nun für ein bestimmtes Material, eine bestimmte Vorschubgeschwindigkeit und einen bestimmten Durchmesser des Arbeitsstückes die richtige Umlaufzahl durch das Wechselräderverhältnis eingestellt, so ändern sich die Umlaufzahlen bei verändertem Arbeitsdurchmesser entsprechend der beizubehaltenden Vorschubgeschwindigkeit selbsttätig. Dies wird erreicht durch eine Kurvenscheibe (Abbildung 11), welche in einem bestimmten Verhältnis zur Entfernung der Aufspannachse des Werkstückes von der Fräserperipherie durch Schneckentrieb derart eingestellt wird, daß der antreibende Rand der oberen Scheibe je nach der Entfernung der Aufspannachse des Werkstückes von der Fräserperipherie bald am äußeren, bald am inneren Umfang des mittleren

Reibscheibenpaares wirkt und dadurch eine kleinere oder größere Umlaufzahl auf das getriebene Reibscheibenpaar übermittelt. Gleichzeitig wird auch der Rand der unteren Scheibe, wenn sich das mittlere Scheibenpaar der oberen Scheibe nähert und dadurch schneller rotiert, vom äußeren Umfang des letzteren mitgenommen, wodurch also das Verhältnis der Zunahme an Geschwindigkeit ein noch größeres wird.

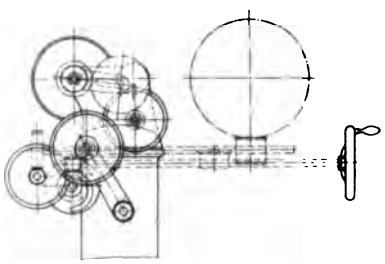


Abbildung 11. Reibscheiben mit selbsttätiger Einstellung.

Diese Beispiele der stufenlosen Reihe stehen aber vereinzelt da; für die gangbarsten Werkzeugmaschinen ist es bei den stufenförmigen Reihen der Umlaufzahlen geblieben.

KRAFTEINLEITUNG UND LEISTUNG. Der Konstrukteur hat neben der Gewinnung der Umlaufzahlen sein Augenmerk auch auf die Krafteinleitung und die Kraftübertragung zu richten, da bei den Bewegungen, d. h. beim Arbeiten, Widerstände zu überwinden sind und je nach der aufgewendeten Zeit ein größerer oder kleinerer Effekt zu leisten ist.

Für die Arbeitsleistung gilt die Formel

$$P\,v = 75\,N,$$

worin N die Anzahl der zu übertragenden Pferdestärken, P die daraus hervorgehende Kraft in Kilogramm, welche am Umfang der getriebenen Scheibe Widerstand leistet, und v die Geschwindigkeit des Riemens in Meter pro Sekunde bedeutet.

Hiernach wird die Kraft P klein, wenn v groß ausfällt. Die zulässigen Werte für P sind in der Hauptsache abhängig vom Querschnitt des Riemens oder, da wir es hier meist mit nur einfachen Riemen zu tun haben, von der Riemenbreite. Die Werte für v ergeben sich aus der Umlaufzahl und dem Durchmesser der antreibenden Riemenscheibe. Weiter sind auch die Durchmesser der Riemenscheiben noch besonders von Einfluß auf die Umfangskraft P, indem nämlich nach der Theorie der Riementriebe die zulässige Beanspruchung für 1 cm Riemenbreite mit dem Durchmesser wächst; ferner nimmt die zulässige Beanspruchung für 1 cm Riemenbreite zu, wenn v größer wird.

Wir haben für diese pro Zentimeter Riemenbreite übertragbaren Kräfte unter Berücksichtigung von v und d Erfahrungswerte zusammengestellt (vgl. das Diagramm Abbildung 12).

In dem Diagramm sind ebenso wie in dem bereits für die Schnittgeschwindigkeiten gezeigten Diagramm die verschiedenen Werte schnell ohne Rechnung aufzufinden. Die horizontalen Geraden ergeben die Umfangskräfte in Kilogramm für 1 cm Riemenbreite, die vertikalen Geraden ergeben die Umlaufgeschwindigkeiten in Metersekunden, und die Kurven geben die verschiedenen Riemenscheibendurchmesser in Millimeter an.

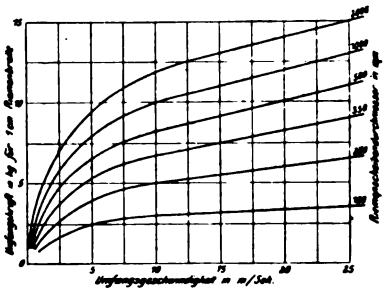


Abbildung 12. Tafel zur Bestimmung der Riemenbreiten.

Aus den für die Kraftübertragung geltenden Gesetzen geht nun deutlich hervor, daß die zu übertragende Kraftleistung um so größer ausfallen wird, je größer der Durchmesser der Riemenscheibe, je breiter der Riemen und je größer die Riemengeschwindigkeit ist.

Gegen diese Fundamentalbedingungen ist nun bei Werkzeugmaschinen früher viel gesündigt worden; es lag dies aber in der Hauptsache mit daran, daß man bis vor

wenigen Jahren keine geeigneten Mittel zum Messen des Kraftverbrauchs von Werkzeugmaschinen hatte. Erst in neuerer Zeit sind wir durch elektrische Meßinstrumente in der Lage, den Kraftverbrauch für die verschiedenen Leistungen genau festzustellen und somit unseren Konstruktionsbureaus wertvolle Anhaltspunkte für die Berücksichtigung aller für die Leistung unserer Maschinen maßgebenden Faktoren zu geben.

Man hatte früher bei den Antrieben für die Schnitt- und Vorschubbewegung vielfach zu schmale Riemen und im Durchmesser zu kleine Riemenscheiben vorgesehen; die Folge davon war, daß die Riemen nicht durchzogen, rutschten oder abfielen, und daß man infolgedessen die maximale Leistung aus einer Maschine nicht herausholen konnte.

Dies hat sich mit der allmählichen Einführung des Schnellschnittstahls noch verschlimmert, und so hat man wohl häufig den Riementrieb verworfen und den sogenannten „positiven Antrieb" gewählt, anstatt genau zu untersuchen, wobei man dann gefunden hätte, daß man gegen die Grundbedingungen der Theorie der Riementriebe gefehlt hatte.

DIE MODERNEN ANTRIEBE. Wir gehen nun auf die sogenannten „modernen" Antriebe ein, indem wir eine Anzahl bekannter Konstruktionen vorführen, die auf verschiedene Weise das gleiche Ziel erreichen sollen, nämlich:

1. Größere Kräfte durch die Haupt- und Vorschubantriebe in die Maschinen einzuleiten, und
2. Zeit zu sparen in der Handhabung; hierzu gehört namentlich die Möglichkeit des bequemen und schnellen Wechselns von einer Umlaufzahl zur anderen.

Beides soll erreicht werden durch die Verwandlung der Stufenriemengetriebe in Stufenrädergetriebe. Durch die Anwendung von Rädern soll das Riemengleiten und der dadurch bedingte Verlust an Kraftleistung vermieden werden, außerdem will man beim Wechsel in den Umlaufzahlen durch Schalten mittels mehr oder weniger bequem liegender Hebel an Zeit sparen gegenüber dem Umlegen der Riemen auf den Stufenscheiben.

Ob dieses Ziel bei allen Konstruktionen wirklich erreicht wird, oder ob vielfach durch die Umwandlung nur der Mode Genüge geleistet wurde, werden wir vorerst unerörtert lassen und dazu übergehen, die verschiedenen Konstruktionen zunächst kurz zu erklären.

Von allen kann man behaupten, daß sie kostspielige und die Maschinen bedeutend verteuernde Rädergetriebe sind, wenn auch ein gewisser Unterschied in bezug auf ihre Einfachheit oder Kompliziertheit vorhanden ist.

In der Hauptsache handelt es sich, je nach der zu erlangenden Anzahl von Umlaufzahlen, um eine kleinere oder größere Anzahl von Rädern, die untereinander oder mit ihren Achsen wechselweise gekuppelt werden müssen, um die den verschiedenen Umlaufzahlen entsprechenden Übersetzungsverhältnisse herzustellen.

Nach der Art ihrer Kuppelung kann man die Getriebe in zwei Hauptgruppen zerlegen:

A. in solche mit der Zahnkranzkuppelung und
B. in solche mit Achsenkuppelung.

Die Getriebe mit Zahnkranzkuppelung kann man wieder in zwei Unterabteilungen zerlegen, nämlich:

1. in Getriebe, bei denen die Kuppelung der Zahnkränze durch axiales Verschieben der Räder erfolgt,
2. in Getriebe, bei denen die Kuppelung der Zahnkränze durch radiales Verschieben bewirkt wird.

Die Getriebe mit Achsenkuppelung lassen sich in drei Unterabteilungen zerlegen:

1. in Getriebe, bei denen die Räder mit ihren Achsen durch Klauen gekuppelt werden,
2. in Getriebe, bei denen die Räder mit ihren Achsen durch Ziehkeile gekuppelt werden,
3. in Getriebe, bei denen die Räder mit ihren Achsen durch Friktion gekuppelt werden.

Schließlich gibt es Getriebe, in denen sowohl Zahnkranz- als auch Achsenkuppelungen, sowie beide Kuppelungen in ihren Unterabteilungen gleichzeitig vorkommen, wie dies meist bei Spindelkästen der Fall ist.

A. GETRIEBE MIT ZAHNKRANZKUPPELUNG. Getriebe mit Zahnkranzkuppelung durch axiales Verschieben der Räder. 3 verschiedene Übersetzungsverhältnisse, einmal mit und einmal ohne Rädervorgelege, ergeben mit 10 Rädern 6 verschiedene Umlaufzahlen (Abbildung 13).

Getriebe mit Zahnkranzkuppelung durch axiales Verschieben. 2×3 verschiedene Übersetzungsverhältnisse, einmal mit und einmal ohne Rädervorgelege, ergeben mit 14 Rädern 12 verschiedene Umlaufzahlen (Abbildung 14).

Getriebe mit Zahnkranzkuppelung durch radiales Verschieben der Räder. 3 verschiedene Übersetzungsverhältnisse ergeben mit 6 Rädern 3 verschiedene Umlaufzahlen (Abbildung 15).

Getriebe mit Zahnkranzkuppelung durch radiales Verschieben der Räder. 3×11 verschiedene Übersetzungsverhältnisse ergeben mit 18 Rädern 33 verschiedene Umlaufzahlen. Dieses Getriebe besteht schon seit 1892 in den Norton-Drehbänken (Abbildung 16).

Getriebe mit Zahnkranzkuppelung durch radiales Verschieben der Räder. 3×9 verschiedene Übersetzungsverhältnisse ergeben mit zusammen 16 Rädern 27 Umlaufzahlen (Abbildung 17).

Getriebe mit Zahnkranzkuppelungen durch radiales und axiales Verschieben der Räder. 2×5 verschiedene Übersetzungsverhältnisse, einmal mit und einmal ohne Rädervorgelege, ergeben mit 15 Rädern 20 verschiedene Umlaufzahlen der Arbeitsspindel (Abbildung 18).

Getriebe mit Zahnkranzkuppelung durch radiales und axiales Verschieben der Räder. 2×4 verschiedene Übersetzungsverhältnisse, einmal mit und einmal ohne Rädervorgelege, ergeben mit 12 Rädern 16 verschiedene Umlaufzahlen der Arbeitsspindel (Abbildung 19).

B. GETRIEBE MIT ACHSENKUPPELUNG. Getriebe mit Klauenkuppelung. Durch 4 verschiedene Übersetzungsverhältnisse 4 Umlaufzahlen mit 6 oder 7 Rädern, wozu 4 verschiedene Klauenkuppelungen betätigt werden müssen (Abbildung 20).

Getriebe mit Klauenkuppelung. Durch 8 verschiedene Übersetzungsverhältnisse 8 Umlaufzahlen mit 8 Rädern, dazu Betätigung von 7 Kuppelungen (Abbildung 21).

Getriebe mit Ziehkeilkuppelung. Durch 4 verschiedene Übersetzungsverhältnisse und 8 Räder 4 Umlaufzahlen (Abbildung 22).

Getriebe mit Ziehkeilkuppelung. Durch 6 verschiedene Übersetzungsverhältnisse und 12 Räder 6 Umlaufzahlen (Abbildung 23).

Dasselbe Getriebe, jedoch dreiachsig. Durch 4×4 verschiedene Übersetzungsverhältnisse und 15 Räder 16 Umlaufzahlen, bei Anordnung eines Rädervorgeleges 32 Umlaufzahlen (Abbildung 23a).

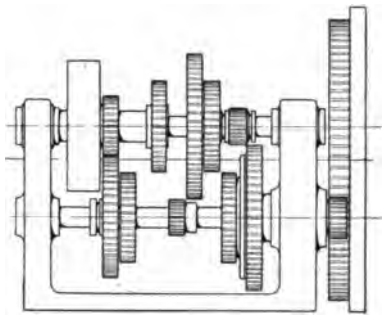
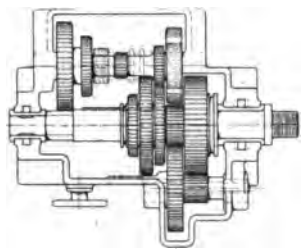
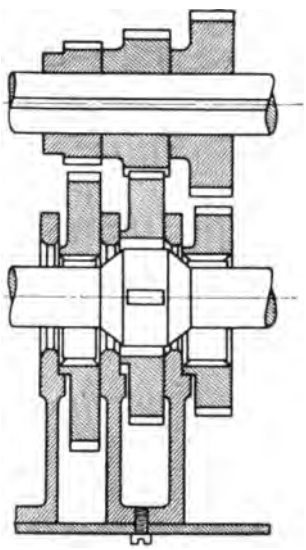


Abbildung 13. Einscheibenantrieb, alte Ausführung, wenig benutzt.



Abbild. 14. Die Zahnkronen der Räder sind abgerundet.



Abbild. 15. Einschwingen der Räder mittels exzentrischer Ringe.

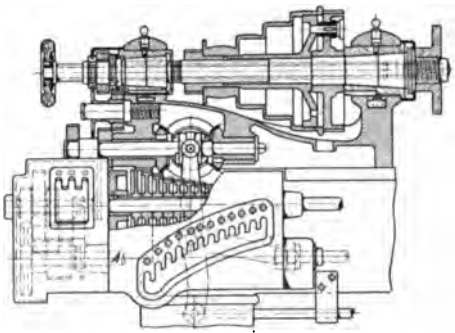


Abbildung 16. Nortongetriebe.

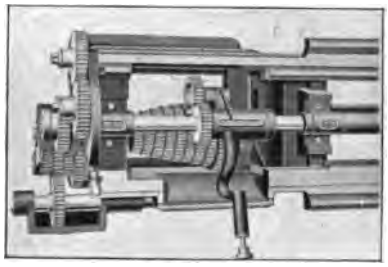


Abbildung 17. Nortonschwinge, im Bett angeordnet.

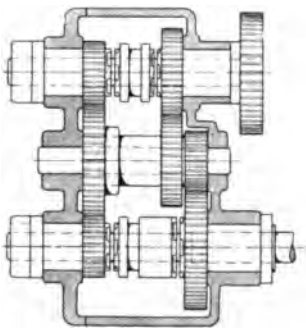


Abbildung 20. Vorschubantrieb. Kuppelung der Räder durch Klauen.

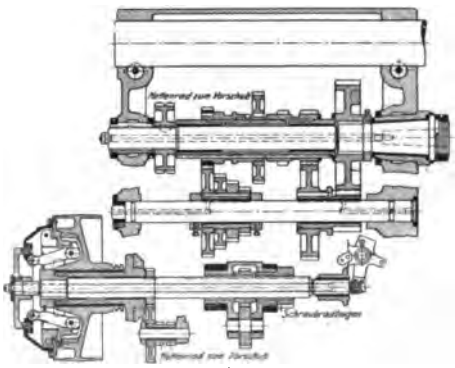


Abbildung 19. Einscheibenantrieb einer Fräsmaschine mit Verschiebung der Räder durch Gabel und Nortonschwinge.

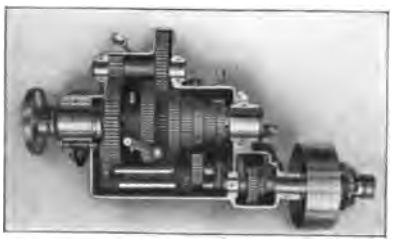
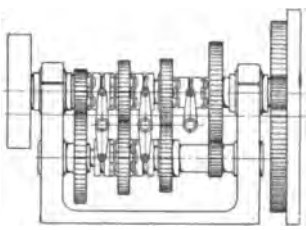


Abbildung 18. Einscheibenantrieb einer Drehbank.



Abbild. 21. Zwangläufig verbundene Klauenkuppelungen.

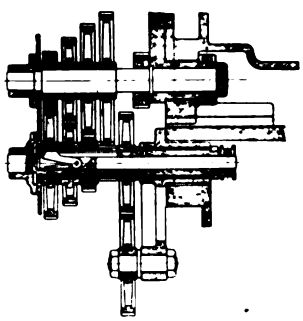


Abbildung 22. Ziehkeil durch Gabel bewegt.

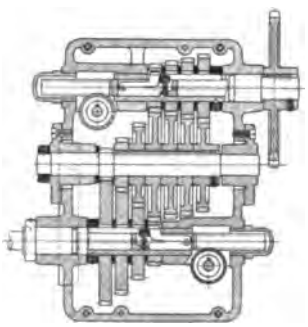
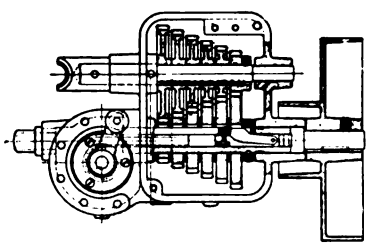


Abbildung 23a. Zwei Ziehkeile in zwei Wellen.



Abbild. 23. Ziehkeil durch Zahnrad und Zahnstange bewegt.

Getriebe mit Ziehkeilkuppelung. Durch 1×4, 1×3, 1×2, 1×1 verschiedene Übersetzungsverhältnisse mit 10 Rädern und 10 Umlaufzahlen (Abbildung 24).

Getriebe mit Ziehkeilkuppelung. Durch 6 verschiedene Übersetzungsverhältnisse mit 10 Rädern 6 Umlaufzahlen (Abbildung 25).

Getriebe mit Friktionskuppelung. Durch 3×3 verschiedene Übersetzungsverhältnisse mit 9 Rädern und 2 Kuppelungen 7 verschiedene Umlaufzahlen (nicht für größere Kraftübertragung geeignet) (Abbildung 26).

Getriebe mit Friktionskuppelung. Durch 4 verschiedene Räderübersetzungen mit 8 Rädern und 4 Kuppelungen 4 verschiedene Umlaufzahlen (Abbildung 27).

Getriebe mit Friktionskuppelung. Durch 3×3 verschiedene Übersetzungsverhältnisse mit 9 Rädern und 6 Kuppelungen 9 verschiedene Umlaufzahlen (Abbildung 28).

Getriebe mit Friktionskuppelung. Durch 4×2 verschiedene Übersetzungen mit 12 Rädern und 6 Kuppelungen 6 Umlaufzahlen (Abbildung 29).

C. GETRIEBE MIT ZAHNKRANZ- UND ACHSENKUPPELUNG. Getriebe mit Klauen-, Friktions- und Zahnkranzkuppelung. Durch 2×4 verschiedene Übersetzungsverhältnisse, einmal mit und einmal ohne Rädervorgelege, mit 14 Rädern, 5 Klauen- und 2 Friktionskuppelungen 16 Umlaufzahlen (Abbildung 30).

Getriebe mit Friktions- und Klauenkuppelung. Durch 2×2 verschiedene Übersetzungsverhältnisse, einmal mit und einmal ohne Rädervorgelege, mit 10 Rädern, 5 Friktions- und 1 Klauenkuppelung 8 Umlaufzahlen (Abbildung 31).

Getriebe mit Friktions- und Klauenkuppelung. Durch 4×2 verschiedene Übersetzungsverhältnisse, einmal mit und einmal ohne Rädervorgelege, mit 14 Rädern, 7 Friktions- und 1 Klauenkuppelung 16 Umlaufzahlen (Abbildung 32).

Am günstigsten in bezug auf die Räderzahl stellen sich die Getriebe mit Zahnkranzkuppelungen durch radiales Verschieben der Räder; jedoch lassen sie sich mit größeren Umlaufzahlen nicht während des Betriebes schalten. Sie finden Verwendung für Haupt- und Vorschubantriebe.

Am ungünstigsten hinsichtlich der Räderzahl stellen sich die Getriebe mit Achsenkuppelung durch Ziehkeile; sie lassen sich aber während des Betriebes schalten. Sie finden vorzugsweise Verwendung bei Vorschubantrieben, indessen bei leichteren Maschinen auch für die Hauptantriebe.

Die übrigen drei Arten halten die Mitte bezüglich der Räderzahl und, außer der Friktionskuppelung, auch in bezug auf das Schalten während des Betriebes; bei langsamlaufenden ist solches Schalten nämlich möglich, bei schnellaufenden dagegen nicht mehr. Sie finden hauptsächlich für Hauptantriebe Verwendung.

Am günstigsten bezüglich des Schaltens während des Betriebes stehen unbedingt die Getriebe mit Achsenkuppelung durch Friktion. Sie eignen sich besonders für hohe Umlaufzahlen, die während der Arbeit gewechselt werden sollen. Deshalb haben sie auch vorwiegend bei Spindelkästen von Drehbänken Verwendung gefunden.

Darüber, was in jedem Fall das richtige ist, gehen die Meinungen noch sehr auseinander, und es werden noch Jahre vergehen, bis sich hierbei für die verschiedenen Maschinengattungen vorherrschende Typen herausgebildet haben werden.

In gleicher Weise wie die Mechanismen wurden auch die einzelnen Teile beansprucht. Wollte man die Dimensionen von Wellen, Spindeln, Kuppelungen, Zahnrädern u. dgl. nicht vergrößern und dadurch auch die Gesamtabmessungen und das Gewicht der Maschinen, so war man zur Verwendung festerer Konstruktionsmaterialien gezwungen. Dieselben Bedingungen waren bei dem jungen, in unglaublicher Weise fortschreitenden Automobilbau vorhanden gewesen. Man machte sich daher die dort

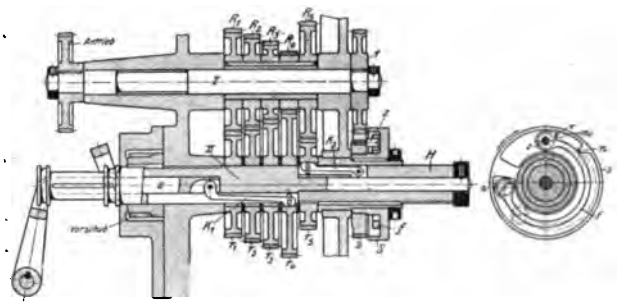


Abbildung 24. Zwei Ziehkeile in einer Welle.

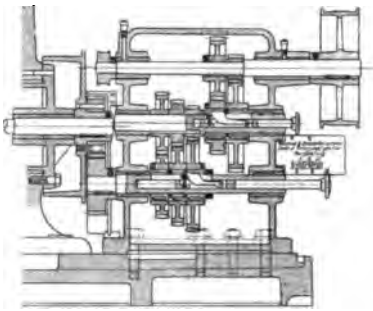


Abbildung 25. Vorgebauter Einscheibenantrieb für eine Fräsmaschine.

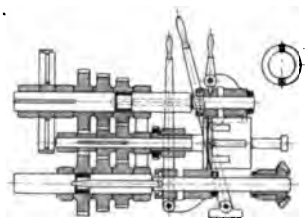


Abbildung 26. Mitnahme durch Spreizringe.

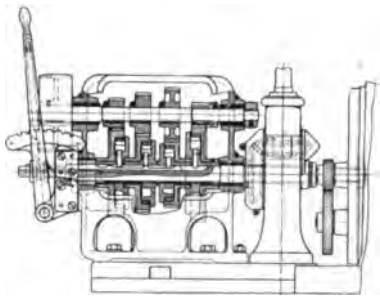


Abbildung 27. Mitnahme durch „Bandfriktion".

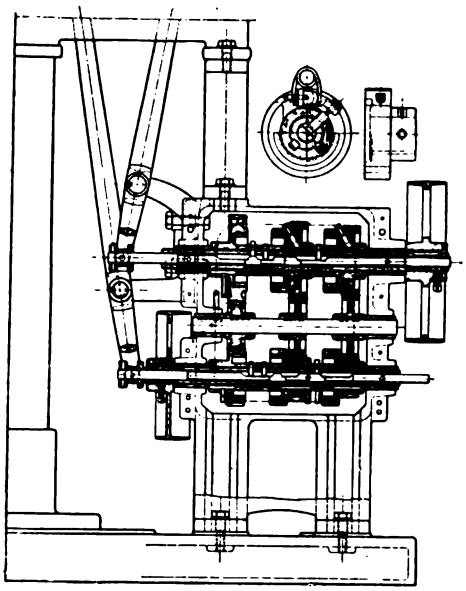


Abbildung 28. Antrieb der Bohrmaschine (Abbildung 28).

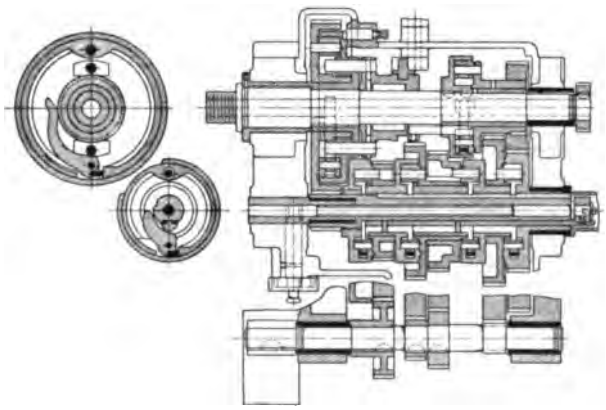
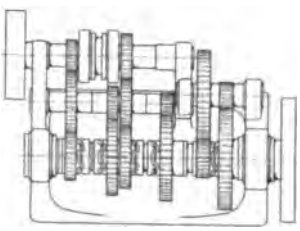
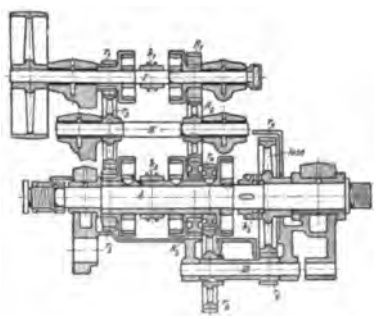
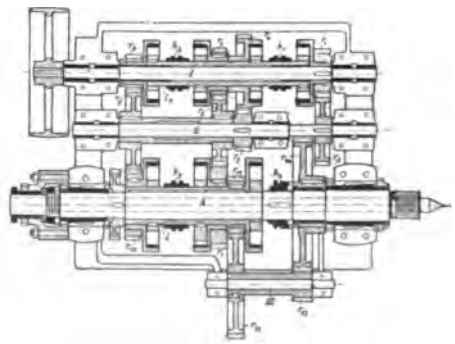


Abbildung 29. Einscheibenantrieb. Sämtliche Geschwindigkeitsstufen im Gange einschaltbar.



Abbild. 30. Die obere Achse hat 2 Friktionskupplungen.





Abbild. 31 u. 32. Gebräuchlichste Einscheibenantriebe für schwere Arbeit.

erworbenen Erfahrungen zunutze durch Verwendung gleicher oder ähnlicher Materialien. Statt des früher verwendeten Gußeisens wird heute vielfach Stahlguß oder Temperguß genommen. Teile, die früher aus Siemens-Martinstahl von ca. 50 kg Festigkeit pro qmm hergestellt wurden, macht man heute aus legierten Stählen, deren Festigkeit oft bis 180 kg/qmm hinaufreicht. Besonders sind die hochsilizierten Stähle sowie Nickel-, Chrom- und Chromnickelstähle in Aufnahme gekommen. Sie alle haben außer ihrer hohen Zerreißfestigkeit den Vorzug einer großen Zähigkeit, selbst in gehärtetem Zustande, so daß sie den auftretenden großen Schlagwirkungen besonders gut gewachsen sind.

Die gleitenden Flächen der Schlitten und Tische mußten den vergrößerten Drucken entsprechend vergrößert werden, um dem so sehr gefürchteten „Fressen" entgegenzutreten. Besondere Aufmerksamkeit erforderten die Lager. Die spezifischen Lagerdrucke waren durch die erhöhte Kraftübertragung bedeutend gewachsen, so daß man zu mechanischen Schmiereinrichtungen, wie Schmierringen, Tropfölern und Schmierpumpen, griff. Gleichzeitig ermöglichte es die geschlossene Bauweise der einzelnen Teile, wie Rädergehäuse, Spindelkasten etc., die darin eingeschlossenen Räder und Getriebeteile in einem Ölbade laufen zu lassen. Im allgemeinen wurde dieser Frage erst in den letzten Jahren die ihr zukommende und durch systematische Versuche unterstützte Sorgfalt gewidmet. Heute ist man zu der Erkenntnis gekommen, daß eine gute Zirkulation des Schmieröles die beste Lagerschmierung ist.

Die Bedingung, bei der Bedienung der Maschine falsche Handgriffe unmöglich zu machen, erforderte eine Verriegelung der einzelnen Mechanismen untereinander, um Brüche zu vermeiden. So muß z. B. in der Räderplatte einer Drehbank eine Verriegelung vorhanden sein, die es unmöglich macht, die Leitspindel einzuschalten, während die Zugspindel betätigt wird, da sonst ein Rädergesperre vorhanden sein würde, das notwendig Bruch verursachen müßte.

4. ELEKTRISCHE ANTRIEBE

Zur Einführung der Einscheibenantriebe hat das Bestreben, die Maschinen direkt durch Elektromotoren unter Vermeidung von Transmissionen anzutreiben, viel beigetragen. Schon vor Ablauf des vorigen Jahrhunderts wurde, besonders bei der Anlage neuer Fabriken, fast stets die Frage aufgeworfen, ob der Antrieb der Werkzeugmaschinen in Gruppen von der Transmission oder einzeln durch Elektromotoren vorzuziehen sei. Meist wurde zugunsten des Gruppenantriebes entschieden, der unter den damaligen Verhältnissen große Vorteile hinsichtlich der Anordnung der Transmission bot. Während nämlich der alte Transmissionsantrieb die Kraft von der Dampfmaschine direkt durch Riemen oder Seile auf die Transmission übertrug, wurden beim Gruppenantrieb einzelne Transmissionsstränge durch Elektromotoren angetrieben. Dadurch wurde man in der Anlage von der Richtung der Transmissionsstränge unabhängig, bei Betriebsstörungen an einzelnen Stellen des Betriebes brauchte nur der betreffende Strang stillgelegt zu werden u. dgl. m.

In noch weit größerem Maße ist dieser Vorteil bei dem elektrischen Einzelantrieb vorhanden. Da bei diesem Maschine und Motor direkt verbunden werden, so fällt dabei die Transmission und die Riemenleitung von dieser zur Maschine überhaupt weg. Die Aufstellung der Maschinen ist somit vollständig unabhängig, und bei schweren Arbeitsstücken können die Maschinen transportabel gemacht werden, so daß unter Umständen mehrere Maschinen gleichzeitig an einem Arbeitsstück arbeiten können. Dadurch wird nicht nur das jedesmalige Ausrichten, sondern auch viel Zeit gespart.

Das bedeutet wieder die Möglichkeit kürzerer Liefertermine, also ein schnelleres Umsetzen des Kapitals bzw. eine Verringerung des Betriebskapitals oder Erhöhung der Rentabilität. Anderseits weist der elektrische Einzelantrieb auch wieder entschiedene Nachteile auf, deren größter wohl in der Notwendigkeit liegt, die Maschinen komplizierter zu gestalten und dadurch die Betriebssicherheit infolge vermehrter Reparaturen zu beeinträchtigen. Bis vor ganz kurzer Zeit war es nämlich nicht gelungen, die Elektromotoren innerhalb gewisser Grenzen mit beliebigen Tourenzahlen laufen zu lassen, und da der Anbau von Stufenscheiben auf die Motorachse nicht angängig, anderseits auch die direkte Riemenverbindung zwischen Motor und Maschine in den meisten Fällen nicht möglich war, so mußte die Abstufung der Geschwindigkeiten durch Einbau von Zwischenmechanismen geschaffen werden, oder man mußte zur Einscheibenmaschine greifen. In beiden Fällen wurde das Ganze dadurch viel kostspieliger. Dann versuchte man durch Vorschaltung von Widerständen dem Elektromotor die gewünschten Geschwindigkeitsabstufungen zu geben, aber das hatte den Nachteil, daß zur Erzeugung niedriger Tourenzahlen durch die Widerstände viel Kraft vernichtet wurde. Da aber im allgemeinen bei Werkzeugmaschinen gerade bei den niedrigen Tourenzahlen die größte Kraft erforderlich ist, so mußten die Motoren von vornherein entsprechend der vernichteten Kraft vergrößert werden. Man hatte also die permanenten Kosten des Kraftverlustes und die einmaligen Mehrkosten für den größeren Motor zu tragen. Durch entsprechende Ankerwicklung und Nebenschlußregulierung kam man dann dazu, den Kraftverlust zu vermeiden, aber diese Motoren waren nur für eine bestimmte Stromart brauchbar. Erst in allerletzter Zeit tauchen Motoren auf, die auch für die anderen Stromarten benutzt werden können, und deren Tourenzahlen im Verhältnis von 1 : 2 bis 1 : 5 variiert werden können, so daß z. B. Umdrehungszahlen eines Motors von 400 bis 2000 in der Minute in beliebigen Zwischenstufen wechseln können.

Abbildung 33. Riemenwechsel mit Schwinge.

Abbildung 34. Drehbank, deren Spindelkasten mit Einscheibenantrieb durch Stufenscheibenspindelkasten ausgewechselt werden kann.

Sicher haben diese Motoren für den Antrieb von Werkzeugmaschinen eine große Zukunft, und es will scheinen, als ob durch sie die Konstruktion dieser Maschinen nicht minder stark beeinflußt werden wird als durch die Einführung des Schnelldrehstahls.

Abbildung 35. Schleifmaschine.

Die elektrischen Antriebe können zunächst in zwei große Gruppen unterschieden werden, in solche, bei denen die Geschwindigkeitsstufen durch die Maschine selbst erzeugt werden, und in solche, bei denen diese entweder durch die Maschine und den Motor erzeugt werden oder durch den Motor allein. In den letzten beiden Fällen werden Motoren mit variabler Geschwindigkeit, die schon oben erwähnt sind, verwendet. Die elektrischen Antriebe, bei denen die Stufengeschwindigkeiten in der Maschine erzeugt werden, unterscheiden sich in solche mit Schwinge und vorgesetztem oder eingebautem Räderkasten. Die in Abbildung 33 gezeigte Revolverdrehbank hat eine Schwinge für den Riemen, um diesen beim Umlegen von einer Stufe auf die andere lose und beim Arbeiten gespannt zu erhalten. In Abbildung 34 sehen wir einen Räderkasten, an dem der Motor entweder direkt mittels Räderübertragung oder durch Riemen angeschlossen wird. In diesem Falle kann der Antrieb natürlich ebensogut durch Deckenvorgelege erfolgen. Ebenso kann der Räderkasten durch Stufenscheibenkasten ersetzt werden, und zwar mit dem Vorteil, daß die Maschine eventuell nach ihrer Fertigstellung für den einen oder den anderen Zweck mit geringen Kosten umgearbeitet wird. Abbildung 35 zeigt eine Schleifmaschine mit direkt angebautem Motor und Antrieb der Spindel durch einen Riemen, der durch die Säule hindurchgeht.

Die Konstruktion der Revolverdrehbank mit Schwinge hat den Nachteil, daß ihre Bedienung bzw. das Wechseln der Geschwindigkeiten etwas unbequem wird, und daß die Riemen verhältnismäßig kurz sind, so daß entweder ihre Durchzugsfähigkeit leidet, oder aber die Riemen sehr straff gespannt werden müssen, und daß die Lager stark beansprucht werden. Bei Radialbohrmaschinen erreicht man durch Vorsetzen eines Räderkastens denselben Effekt, als wenn dieser in die Maschine eingebaut wäre. Die Schleifmaschine eignet sich infolge ihrer hohen Geschwindigkeiten ganz besonders zum elektrischen Antrieb, da die hohen Tourenzahlen des Motors nicht erst durch Räder übersetzt werden müssen. Die gewöhnlichste und wohl auch zweckmäßigste Form zeigt die nebenstehende Fräsmaschine Abbildung 36, in der ebenfalls die Geschwindigkeitsstufen durch den Räderkasten, der in den Stän-

Abbildung 36. Planfräsmaschine.

der eingebaut ist, erzeugt werden, und bei der der Antrieb durch Elektromotor so gut wie durch Deckenvorgelege mittels Riemen erfolgen kann.

5. PRÜFUNG DER WERKZEUGMASCHINEN AUF IHRE LEISTUNG

Es ist schon früher darauf hingewiesen worden, daß für die Erforschung der Leistungsfähigkeit des Schnelldrehstahls ausgedehnte Versuche gemacht werden mußten, und daß die Notwendigkeit wissenschaftlicher Versuchsreihen erst im jetzigen Jahrhundert eingesehen wurde. Schon im Jahre 1900 nahmen die grundlegenden Versuchsreihen, die Taylor während der Pariser Weltausstellung bekanntgab, das größte Interesse in Anspruch. Weitere systematische Versuche verdanken wir Professor Reuleaux, Thallner, Professor Fischer und der von dem Verein deutscher Ingenieure zu diesem Zweck eingesetzten Kommission. Besonders wertvolle Versuchsreihen legte Nicolson in seinem „Report on experiments with rapid cutting steel tools" 1903 fest. Sie bezogen sich in der Hauptsache auf die zerspante Materialmenge (kg/st), die bearbeitete Oberfläche (qcm/sek), Schnittgeschwindigkeit (in m/sek), Schnittiefe (in mm), Vorschub (in mm), Dauer des Versuchs, Zustand des Werkzeugs vor und nach dem Versuch, Kraftverbrauch (in mkg/st) und mechanischen Effekt (in mkg/sek, sek/mkg/qmm und P.S.).

Die zu den Versuchen benutzte Drehbank hatte eine Spitzenhöhe von 470 mm, und der Antrieb erfolgte durch einen Motor von 120 P.S. Als Durchschnittswerte der höchsten Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten wurde etwa folgendes gefunden:

Material des Arbeitsstückes	Zugfestigkeit kg/qmm	Dehnung auf 100 mm Stablänge mm	Schnittgeschwindigkeit und Spanmenge in m/min bei: 9,5 / 3,2	kg	4,8 / 3,2	kg	4,8 / 1,6	kg	1,6 mm Schnittiefe / 1,6 mm Vorschub	
Weicher Stahl	41,5	24	13,5	185	18,6	128,5	31,1	107,5	42,2	48,6 kg pro St.
Mittelharter Stahl . . .	45,6	15	11,4	156	16,0	110,8	23,1	80	31,0	35,4 „ „ „
Harter Stahl	73,8	13	6,0	82	9,3	64,3	12,5	43,2	16,5	19 „ „ „
Weiches Gußeisen . . .	8,6	—	15,4	205	19,4	134	25,9	89,5	32,4	37,4 „ „ „
Mittelhartes Gußeisen .	17,8	—	7,6	104	10,9	75,4	14,5	50,1	18,2	21 „ „ „
Hartes Gußeisen . . .	12,6	—	5,8	79,4	6,8	47	9,2	31,8	11,2	12,9 „ „ „

Seit dieser Zeit ungefähr besteht ein Ringen zwischen den Werkzeugmaschinenkonstrukteuren und den Werkzeugstahlfabrikanten, das an die Konkurrenz zwischen Geschütz und Geschoß einerseits und die Panzerplatte anderseits erinnert. Während die Hüttenwerke durch Verbesserung des Herstellungsprozesses, die Verwendung besser geeigneter Rohmaterialien sowie durch Versuche in der Änderung der Legierungen etc. sich bemühen, die Leistungsfähigkeit der Werkzeuge zu steigern, haben die Werkzeugmaschinenfabrikanten inzwischen Maschinen hergestellt, die nicht nur erlauben, die volle Schnittfähigkeit der Werkzeugstähle auszunutzen, sondern auch noch den weiteren Verbesserungen der Stähle in den nächsten Jahren standhalten werden. Man ist teilweise so weit gegangen, daß man die praktische Verwendbarkeit, in dem Bestreben, die Leistungsfähigkeit zu erhöhen, aus dem Auge verlor.

Zur Erprobung ihrer Maschinen und Werkzeuge haben sich die hochstehenden Werkzeugmaschinenfabriken jetzt Versuchswerkstätten angelegt, in denen die Versuche nach dem Vorbilde Nicolsons ausgeführt werden. Diese Werkstätten dienen auch

gleichzeitig zur Ausprobierung der Zweckmäßigkeit neuer Konstruktionen und Mechanismen sowie der Verwendung der verschiedenen Materialien. Sie sind mit allen Apparaten zum Messen der verbrauchten Kräfte und auftretenden Widerstände und der angewendeten Geschwindigkeiten versehen und müssen in enger Verbindung mit dem Konstruktionsbureau stehen, dem die ermittelten Ergebnisse und Tabellen als Unterlagen für weitere Neukonstruktionen dienen sollen.

M.B.V. № 297. BERICHT № 136. FRÄSMASCHINEN.

KATALOG № DER MASCHINE 12 II E

FABRIK. № 4044. ORDER № 294.10.P.

LEISTUNGEN: BLATT 8.

VERSUCHE №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
MATERIAL DES ARBEITSSTÜCKES	GUSSEISEN																	
UMDREH. DES WERKZEUGES IN DER MINUTE	23,5	24,5	23,5	23,5	23,5	23,5	24,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	43	43	43	67	67	67
SCHNITTIEFE IN mm	10	10	10	10	10	10	10	10	10	15	15	15	10	10	10	10	10	10
SCHNITTBREITE IN mm	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402	402
VORSCHUB BEI EINER UMDR. DES WERKZEUGES	1,75	2,41	2,97	3,82	4,83	5,83	6,25	7,37	9,12	9,03	6,25	7,37	4,14	4,88	6,05	2,13	3,13	3,88
VORSCHUB IN DER MINUTE.	50	65	79	93	115	145	178	240	260	445	178	240	178	240	260	178	240	260
MATERIAL, FORM, ART, DURCHM. DES WERKZEUG.				445	GROBZAHNIGER ϕ				12	ZAHNE	NOVO	FRÄSER	45	mm	BOHR.			
SPANQUERSCHNITT IN qmm	1080	1080	1080	1080	1620	1620	1620	1080	1080	1530	1530	1530	1080	1080	1080	1080	1080	1080
SCHNITTGESCHWIND. IN m/MIN	40,3	40,3	40,3	40,3	40,3	40,3	40,3	40,3	40,3	40,3	40,3	40,3	45,5	45,5	45,5	24,2	24,2	24,2
ZUSTAND D. WERKZEUGES.	SCHARF																	
PS DER TRANSMISSION.	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
PS DER TRANSMISSION UND DES DECKENVORGEL.	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
PS DER TRANSMIS. U. MASCH. INKL TISCHBEWEGUNG	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,7	4,7	4,7
PS WENN MASCHINE UNTER SCHNITT	6,8	7,5	8	8,9	9,6	10,6	11,3	13	14,5	15	15	17,6	11	12,4	14,2	13,6	14	15,4
PS FÜR LEERLAUF DER MASCHINE	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,3	1,3	1,3
PS IN DIE MASCH. EINGELEIT.	3,4	4,1	4,6	4,9	6,2	7,2	8,1	9,6	11,1	9,6	11,6	14,2	7,6	9	10,6	9,4	10,6	12
ZERSPANTE MENGE PRO kg UND STUNDE	22	27,7	34,7	41	50,6	63	78,3	92,3	111	94,5	117	138	78,3	92,3	111	78,3	92,3	111
EINGELEITETE PS PRO STÜNDLICH ZERSPANT. kg	0,154	0,148	0,136	0,119	0,122	0,114	0,107	0,104	0,099	0,102	0,099	0,103	0,099	0,099	0,095	0,17	0,145	0,115
BEMERKUNGEN.	VERSUCH № 13 U. 14 KANN ALS DAUERLEISTUNG BETRACHTET WERDEN.																	
	VERSUCH № 12 MAX LEISTUNG BEI SEHR STRAMMEN ANTRIEBSRIEMEN.																	
	MATERIALGEWICHT KANN NUR MIT GROBGEZAHNTEN WALZENFRÄSER ERREICHT WERDEN.																	

BERLIN, DEN 26. APRIL 1912.

Abbildung 37. Versuchstabelle der Maschine Abbildung 36.

Hinsichtlich der Leistungsfähigkeit dient dabei meist das Verfahren Nicolsons als Schema. Sollen die einzelnen Teile der Maschine auf ihre Haltbarkeit bei stärkster Beanspruchung ausprobiert werden, so ist der Gedanke grundlegend, daß beim Riemenantrieb der Riemen, beim elektrischen Antrieb der Motor der schwächste Teil sein soll, d. h. daß alle Teile der Maschine bei höchster Beanspruchung des Riemens oder des Motors haltbar gegen Bruch, Verbiegung und Abnutzung sein müssen. Dabei kann die Abbremsung der eingeleiteten Kraft entweder durch Zerspanungsversuche oder auch durch Reibung mittels eines Pronyschen Zaumes erfolgen. Um die Leistungsfähigkeit der heutigen Maschinen zu charakterisieren, fügen wir nachfolgend zwei Versuchsberichte ein, und zwar von einer Fräsmaschine, Abbildung 36, und einer Schruppdrehbank, Abbildung 39. Der Bericht Nr. 136 über die Fräsmaschine stellt in der Reihe der Versuche die achte Tabelle vor. Es sind demnach im ganzen 144 Versuche zur Erprobung der Leistungsfähigkeit und der Stabilität der Maschine nötig gewesen. Dazu kommen noch die Versuche zur Ausprobierung des Räderkastens für den Antrieb und des Räder-

kastens für den Vorschub. Es ist klar, daß derartig ausgedehnte und in jeder Hinsicht abschließende Versuche nicht nur außerordentlich viel Kosten verursachen, sondern auch viel Zeit in Anspruch nehmen. Allerdings bringen sie auch den Vorteil einer vollständig ausprobierten Konstruktion und die Sicherheit, daß den Käufern Maschinen übergeben werden, die hinsichtlich ihrer Leistung und ihrer Dauerhaftigkeit allen Ansprüchen gerecht werden. Die größte Leistung der Fräsmaschine mit 138 kg pro Stunde wurde erzielt bei einem minutlichen Vorschub des Werkstückes von 210 mm und bei einer Schnittgeschwindigkeit des Werkzeugs von 10,3 m in der Minute, während bei größerer Schnittgeschwindigkeit von 24 m oder bei größerem Vorschub von 260 mm diese Leistung nicht erreicht wurde. Die verbrauchte Energie inkl. der durch Reibung in der Maschine verbrauchten Kraft betrug im Maximum 14,2 P.S., so daß für jedes Kilogramm Späne 0,103 P.S. nötig waren. Im günstigsten Falle sank diese Ziffer auf 0,097. Das ist ein außerordentlich günstiges Resultat, und wenn man noch bedenkt, daß der Leerlauf der Maschine nur 0,8 P.S. erforderte, so kann man behaupten, daß die Konstruktion dieser Maschine zu den hervorragendsten gehören dürfte, die augenblicklich existieren.

M.B.V.Nº BERICHT Nº 47. DREHBÄNKE

KATALOG Nº DER MASCHINE 5 C

FABRIK Nº 28948 ORDER Nº 160.08.P.

LEISTUNGEN:

VERSUCHE Nº	1	2	3	4	5	6
MATERIAL DES ARBEITSSTÜCKES		M.-St.	ca. 60 kg	FESTIGKEIT.		
UMDR. DES ARBEITSSTÜCK IN DER MIN.	42	42	72	106	167	240
DURCHMESS. D. ARBEITSST. VOR U. HINTER D. WERKZS.	150 90	90 66	150 185	98 68	34 52	62 34
SCHNITTGESCHWIND. m/MIN. AM GRÖSZ. DURCHMESSER	20	12	34	32,5	43	46,5
SCHNITTIEFE IN mm	30	12	12,5	15	16	14
SPANQUERSCHNITT qmm	30	33,6	12,5	15	11,2	14
VORSCHUB BEI EINER UMDR. DES ARBEITSSTÜCKES.	1	2,8	1	1	0,7	1
VORSCHUB IN DER MIN	42	116	72	106	117	240
MATERIAL, FORM, ART, DURCHM. D. WERKZEUG		2 NORM. STÄHLE		32 % KEILFÖRMIG		
	DER HINT. DREHT AUF 130 % DER VORD. AUF 80 %	DER HINT. DREHT AUF 85 % DER VORD. AUF 66 %	DER HINT. DREHT AUF 140 % DER VORD. AUF 72 %	DER HINT. DREHT AUF 80 % DER VORD. AUF 68 %	DER HINT. DREHT AUF 70 % DER VORD. AUF 55 %	DER HINT. DREHT AUF 55 % DER VORD. AUF 34 %
PS DER TRANSMISSION	3	3	3	3	3	3
PS DER TRANSMISSION UND DES DECKENVORGEL.	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
PS DER TRANSMISSION U. MASCH. INKL. SUPPORTBEW.	5	5	4	4	4,5	5,25
PS WENN MASCHINE UNTER SCHNITT	20	17	17,5	18	18	20,5
PS FÜR LEERLAUF DER MASCHINE	2	2	1	1	1,5	2,25
PS IN DIE MASCHINE EINGELEITET	16,6	13,6	14,1	14,6	14,6	17,1
ZERSPANTE MENGE IN kg PRO STUNDE	248	160	180 *	192	185	234
EINGELEITETE PS PRO STÜNDL. ZERSPANT. kg	0,076	0,085	0,079	0,076	0,079	0,079
BEMERKUNGEN.	1-6. DER SPANQUERSCHNITT BEZIEHT SICH AUF DIE PRO UMDREHUNG ABGENOMMENE SPANMENGE (ALSO VORD. + HINT. STAHL). BEI VERSUCH 6 BRACH DAS ARBEITSSTÜCK, WEIL ES IN DURCHMESSER ZU SCHWACH WAR, UM DER HOHEN BEANSPRUCHUNG WIDERSTEHEN ZU KÖNNEN. * FÜR OFFERT-ANGABEN BENUTZEN!					

BERLIN, DEN 30. APRIL 1910.

Abbildung 38. Versuchstabelle der Schruppdrehbank Abbildung 39.

Ähnliche und gleich günstige Ergebnisse zeigt die für die Schruppdrehbank Abbildung 39 aufgestellte Versuchstabelle mit einer Maximalzerspanung von 234 kg pro Stunde. Hier wurden pro Kilogramm erzeugten Span 0,078 P. S. verbraucht. Bei allen derartigen Versuchen, die den Zweck haben, die äußerste Leistungsfähigkeit

der Maschine zu finden oder aber die schwachen Teile der Maschine kennen zu lernen, müssen die Riemen über das natürliche Maß hinaus gespannt werden, so daß die Maximalzahl der erreichten Spanmenge nicht als normale Leistung betrachtet werden darf; vielmehr muß die Leistungsfähigkeit der Maschine so angegeben werden, daß der Riemen genügend Lebensdauer hat und die Teile der Maschine keiner allzu hohen Abnutzung unterworfen sind. Wie schon erwähnt, muß der Riemen bzw. der Motor bei einer richtig durchkonstruierten Maschine stets der schwächste Teil sein, denn bei der Berechnung während der Konstruktion wird für sämtliche Konstruktionsteile gewöhnlich eine vier- bis sechsfache Sicherheit eingesetzt.

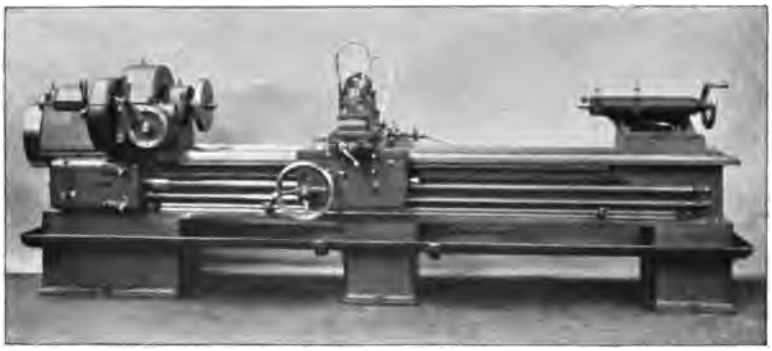


Abbildung 39. Schruppdrehbank.

6. PRÜFUNG DER WERKZEUGMASCHINEN AUF IHRE GENAUIGKEIT

Mit den großen Fortschritten, die der Werkzeugmaschinenbau hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Konstruktion gemacht hat, hielt auch die Erhöhung der Präzision gleichen Schritt. Nur sehr wenige Werkzeugmaschinenfabriken nahmen vor 1900 eine Prüfung ihrer Erzeugnisse hinsichtlich ihrer Genauigkeit vor; die meisten lieferten ihre Maschinen in dem oft sehr mangelhaften Zustande ab, der durch ungenügende Einrichtungen, nachlässige Fabrikation und Unkenntnis guter Meßverfahren bedingt war. Die Folgen beim Gebrauch derartig ungenauer Maschinen blieben zwar niemals aus, aber da die Kenntnis genauer Maschinenarbeit nicht allgemein bekannt war, so fand man sich damit ab, die schlecht vorgearbeiteten Teile durch Handarbeit auf die nötige Genauigkeit zu bringen. Erst als die Erkenntnis durchdrang, daß man mit guten und genauen Maschinen die Arbeiten ebensogut und sogar noch besser ohne Erhöhung der Löhne maschinenfertig ausführen kann, machte sich das Bedürfnis nach Präzisionsmaschinen geltend. Besonders als das Prinzip der Herstellung austauschbarer Teile nach dem Grenzlehrensystem sich Bahn brach, war für ungenaue Maschinen die Zeit abgelaufen, und heute sind fast überall in fortgeschrittenen Fabriken beim Kauf neuer Maschinen die Genauigkeit neben der Leistungsfähigkeit Faktoren, die mehr gelten als niedrige Preise für minderwertige Ausführungen. Daher werden in allen besseren Fabriken jetzt die Maschinen auf ihre Genauigkeit untersucht.

So wie im Versuchsraum werden auch bei der Revision der fertigen Maschine Berichte über die Genauigkeiten derselben niedergelegt, und zwar sind hier die Grenzen der zulässigen Ungenauigkeit von vornherein bestimmt, so daß jede Maschine, deren Einzelteile diese Ungenauigkeiten überschreiten, zurückgewiesen werden muß. Die nebenstehende Tabelle, Abbildung 40, zeigt den Revisionsbericht für eine Drehbank. Die gefundenen Ungenauigkeiten werden von dem Revisor in die erste Kolonne eingetragen und dürfen die in der zweiten Kolonne angegebenen zulässigen Toleranzen nicht übersteigen.

7. DIE WERKZEUGMASCHINEN ALS ZEITSPARENDE MASCHINEN

Wir haben schon erwähnt, daß nur die spanabhebenden Werkzeugmaschinen zur Betrachtung gezogen werden sollen. Sie können ihrer Verwendbarkeit nach in zwei große Gruppen zerlegt werden: in solche für allgemeine Zwecke, also in ihrer Art universelle Maschinen, und in solche, die nur engbegrenzten Zwecken dienen. Zu den ersten gehören die normalen Drehbänke, Revolverdrehbänke, Schleifmaschinen, Bohrmaschinen, Fräsmaschinen und Hobelmaschinen. Sie sind sowohl für Einzel- als auch für Massenfabrikation brauchbar, während die Spezialmaschinen fast ausschließlich in der Massenfabrikation gebraucht werden. Die letzteren bezeichnet man meist als Spezialmaschinen, weil sie nur für spezielle Arbeiten brauchbar sind.

Nach der Art und Weise, wie sie bedient werden, kann man die Werkzeugmaschinen unterscheiden in Handmaschinen, selbsttätige oder halbautomatische und in ganzautomatische Maschinen. Der Zweck aller Werkzeugmaschinen ist die Formgebung der rohen oder vorgearbeiteten Materialien, speziell der Metalle, durch Spanabnahme. Als spanabhebendes Mittel dient das Werkzeug, das einfach oder zusammengesetzt und in beiden Fällen mit einer oder mehreren Schneidkanten versehen sein kann. Die einschneidigen Werkzeuge nennt man Stähle oder Stichel. Die mehrschneidigen können aus mehreren Sticheln zusammengesetzt sein, oder sie können, wie bei den rotierenden Werkzeugen, Bohrern, Fräsern etc., aus einem Stück bestehen. Schließlich können auch Fräser wieder zu Fräsersätzen zusammengesetzt werden. Die Spanabnahme kann durch hin und her gehende oder drehende Bewegung des Werkstückes oder des zu bearbeitenden Materials oder durch beide zugleich erfolgen. Die

LUDW. LOEWE & CO.
ACTIENGESELLSCHAFT
BERLIN NW. 87

EINGETR. SCHUTZMARKE

DREHBANK No. 3 Bc – MOD. I FABR.-No. 4561.

		Zulässige Toleranz	Bemerkungen
DAS BETT IST AUF SEINER GANZEN LÄNGE HOHL	—	0.02 mm	auf 2000 mm Länge
BALLIG	0,01	0.02 mm	auf 2000 mm Länge
DIE PRISMAFÜHRUNGEN SIND PARALLEL BIS AUF	0,00	0.02 mm	auf 2000 mm Länge
ZUR PRISMAFÜHRUNG DES BETTES WEICHEN AB:			
a) DIE ACHSE DES SPINDELKASTENS SEITLICH	0,01	0.02 mm	auf 300 mm Länge
VERTIKAL	0,00	0.02 mm	
b) DIE ACHSE DES REITSTOCKES SEITLICH	0,00	0.02 mm	auf 300 mm Länge
VERTIKAL	0,01	0.02 mm	
DIFFERENZ ZWISCHEN SPINDELKASTEN-ACHSE UND REIT-STOCK-ACHSE VERTIKAL	0.02 mm	0,01	
SEITLICH	0.0 mm		
MASCHINE DREHT IN DER PLANRICHTUNG HOHL	0,02	0.02 mm hohl	auf 300 mm Länge
DER BUND DER ARBEITSSPINDEL SCHLÄGT	0,00	0.01 mm	
DER KONUS DER ARBEITSSPINDEL SCHLÄGT	0,01	0.02 mm	auf 300 mm Länge

BERLIN, DEN 3 August 1912.

BETRIEBSLEITER: Unterschrift

REVISIONSMEISTER: Unterschrift.

Abbildung 40. Revisionsattest der Drehbank Abbildung 34.

Spanstärke wird durch den Vorschub erzielt, d. i. durch die Fortbewegung des Werkzeugs oder des Rohmaterials vor dem Schnitt oder während des Schnittes. Unter Schnittgeschwindigkeit versteht man die Schnelligkeit der Bewegung, mit der die Spanabnahme erfolgt. Je nachdem alle diese Bewegungen von Hand oder mechanisch ausgeführt werden, nennt man sie Hand- oder selbsttätige Bewegungen.

Das außerordentliche Anwachsen der Industrie in allen Kulturländern und in allen Branchen hat es mit sich gebracht, daß die Arbeitskraft der Menschen immer wertvoller geworden ist. Seitdem die Maschine zur Gehilfin des Menschen bei der Arbeit wurde, ist in stetig sich steigerndem Maße die Arbeitsmenge gewachsen. Durch die verbilligte Herstellung aller Gebrauchsgegenstände infolge der Maschinenarbeit ist der Verbrauch derselben gestiegen und dadurch die ganze Lebensführung eine höhere geworden. Diese beiden Tatsachen, nämlich die vermehrte Gelegenheit zur Arbeit und der sehr verständliche Zug des Kulturmenschen nach einem gewissen Luxus tragen naturgemäß dazu bei, den Preis für geleistete menschliche Arbeit zu steigern. Anderseits ist durch den erleichterten Austausch der Erzeugnisse infolge der heutigen Verkehrsmittel die freie Konkurrenz gewachsen. Kein Wunder also, daß man durch Verbesserung der Arbeitsmethoden und vor allem durch Verbesserung der Maschinen die Arbeitslöhne am einzelnen Stück zu verringern sucht. Stets hat ein Steigen der Löhne das Bestreben gezeitigt, die dadurch verursachten Mehraufwendungen durch verbesserte Maschinen wieder auszugleichen, und Länder mit besonders hoch bezahlten Arbeitskräften haben auch meist in der Herstellung von Maschinen, mit denen Zeit bzw. Arbeitslöhne gespart werden können, Hervorragendes geleistet. Auf diese Weise ist die so hoch entwickelte amerikanische Industrie entstanden, und ebenso hat sich in Deutschland unsere noch vor 40 Jahren so schwache Industrie zu einer Höhe emporgeschwungen, daß aus dem früheren Agrarland heute eines der ersten Industrieländer geworden ist.

So wie im allgemeinen, so macht sich auch in der Fabrikation und in der Herstellung der Werkzeugmaschinen das Bestreben geltend, die aufzuwendenden Arbeitszeiten zu verringern. Um dieses Bestreben und die dadurch erzielten Fortschritte verständlicher zu machen, wollen wir den Gang einer Arbeit an der Werkzeugmaschine analysieren.

Fast alle Arbeiten lassen sich in folgende Operationen zerlegen: Festspannen und Ausrichten des Arbeitsstückes, Einspannen und Einstellen der Werkzeuge, Einstellen der Arbeitsbewegung an der Maschine, die eigentliche Bearbeitung des Arbeitsstückes durch die Werkzeuge und das Abnehmen des bearbeiteten Stückes.

Wir sehen also, daß außer der Zeit für den eigentlichen Arbeitszweck eine Reihe von Arbeiten nötig werden, die aber nur Mittel zum Zweck sind, und wenn man bedenkt, daß diese Nebenarbeiten oft mehr Zeit erfordern als diejenige, die zur Formgebung durch Bearbeitung nötig ist, so ist klar, daß die Bestrebungen, diese Nebenarbeiten zu verkürzen oder gar wegfallen zu lassen, von gleichem Wert sind wie die zur Verkürzung der Arbeitszeit durch Vergrößerung der Schnittgeschwindigkeiten mittels des Schnellschnittstahls, die zu Anfang behandelt wurde. Die weitgehendsten Erfolge in dieser Hinsicht werden durch Herbeiführung der Massenfabrikation, die später behandelt werden soll, erzielt, weil dabei die Wiederholung einzelner Arbeitsoperationen einfach wegfällt. Z. B. ist bei der gleichen Bearbeitung einer Reihe von Teilen das Einspannen und Einstellen der Werkzeuge und das Einstellen der Maschine nur einmal nötig, so daß die Zeit dafür beim zweiten und folgenden Arbeitsstück gespart wird. Bei automatischen Maschinen, die ja fast nur bei Massenfabri-

kation benutzt werden können, fällt oft auch noch das Ein- und Abspannen des Arbeitsstückes weg, und es bleibt als regelmäßige, bei jedem Stück wiederkehrende Arbeit nur reine Maschinenarbeit übrig.

Bei Einzelfabrikation lassen sich diese Nebenarbeiten aber nicht vermeiden, und daher versucht man Maschinen und Werkzeuge so zu konstruieren, daß die dafür notwendige Zeit so gering wie möglich wird. Die einzelnen Bewegungen der Maschinen werden möglichst nach allen Richtungen selbsttätig gemacht und diese Bewegungen durch Auslösevorrichtungen und bequem einstellbare Anschläge selbsttätig begrenzt. Der Wechsel der Umdrehungs- oder der Vorschubgeschwindigkeiten wird so eingerichtet, daß man sie, ohne die Maschine anzuhalten, fast momentan ausführen kann.

Abbildung 41. Bohrmaschine. Siehe den Antrieb Abbildung 28.

DIE HEUTIGEN WERKZEUGMASCHINEN.

Einige derartige Einrichtungen haben wir in den voraufgegangenen Kapiteln bereits kennen gelernt. Ein weiteres, recht gutes Beispiel ist die in Abbildung 41 gezeigte Bohrmaschine. Für das bequeme und schnelle Aufspannen der Arbeitsstücke ist sowohl der untere wie der obere Tisch reichlich mit Spannuten versehen. Der obere Tisch läßt sich sowohl um den Hauptständer wie auch um seine eigene Achse drehen und ermöglicht so eine schnelle Einstellung der Arbeitsstücke. Die selbsttätige Bewegung der Bohrspindel läßt sich durch einen verstellbaren Anschlag selbsttätig auslösen, und die Tiefe des gebohrten Loches ist auf einer Skala auf der Pinole der Bohrspindel ablesbar. Sämtliche Handgriffe bzw. Bewegungen der Maschine lassen sich direkt vom Stande des Arbeiters betätigen, so daß für die Bedienung, für das Wechseln der Geschwindigkeiten usw. die Zeit auf das geringste Maß reduziert wird.

Die in Abbildung 43 dargestellte Zug- und Leitspindeldrehbank besitzt im Spindelkasten ein durch Stufenscheibe angetriebenes Duplexrädervorgelege und hat 9 Geschwindigkeiten, von denen 3 ohne und 6 mit Rädervorgelege laufen. Der Axialdruck der Arbeitsspindel wird durch ein Kugellager am hinteren Ende des Spindelkastens aufgenommen. Die Übertragung auf die Leitspindel kann sowohl durch Wechselräder als auch direkt durch den Räderkasten erfolgen. Ebenso kann die Zugspindel sowohl durch die Wechselräder als auch durch den Räderkasten mit je 5 verschiedenen Vorschubgeschwindigkeiten bewegt werden. Für die Längsbewegung des Supports sind an der unteren Seite des Bettes Anschläge angebracht, die die Supportbewegung nach beiden Seiten selbsttätig auslösen. Ebenso wird die Weiterbewegung des Supports durch Anschläge vor- und rückwärts ausgeführt. Das Einschalten der Leitspindel sowie der Spindel für den Langzug kann nicht gleichzeitig geschehen, da beide Bewegungen untereinander verriegelt sind. Um Gewinde mit hohen Steigungen schneiden zu können, ist eine besondere Übertragung im Spindelkasten vorhanden, die die Um-

drehung der Stufenscheibe direkt auf die Leitspindel überträgt, ohne erst über das Rädervorgelege zu gehen. Eine Abart dieser Drehbank ist die in Abbildung 39 gezeigte Schruppdrehbank. Sie ist mit Einscheibenantrieb ausgeführt, der Spindelkasten hat 4 Geschwindigkeiten mit Friktion und 1 doppeltes Zahnradvorgelege. Die Eigentümlichkeit dieser Maschine ist, daß sie speziell zur Abnahme großer Spanmengen, also für schwere Arbeiten konstruiert ist. Zu diesem Zweck besitzt sie auf dem Support zwei Stahlhalter zur Aufnahme der Drehstähle und ist mit einer Einrichtung zur Zuführung großer Kühlflüssigkeitsmengen versehen. Beide Stahlhalter können sowohl gleichzeitig als auch einzeln von Hand bewegt werden und erleichtern so die Einstellung der Stähle am Arbeitsstück. Zur Aufnahme des Kühlwassers und der Späne ist die Maschine mit einer Art Mulde versehen, die sich unter dem Bett befindet. Der Antrieb des Längsganges des Quersupports geschieht in der Weise, daß die Bewegung durch die an der vorderen Seite des Bettes angebrachte Zugspindel zunächst nach der Mitte des Supports geleitet wird und von dort gleichzeitig auf die an der vorderen Seite und der hinteren Seite des Bettes befindlichen beiden Räderplatten. Auf diese Weise wird, entsprechend der großen Beanspruchung, auf beiden Seiten der Zug des Supports vorteilhaft und der Beanspruchung entsprechend ausgeführt. In Abbildung 42 und 42a ist eine Hinterdrehbank wiedergegeben, die zur Herstellung hinterdrehter Werkzeuge dient, und zwar können diese Werkzeuge ebensowohl mit geraden als mit spiralförmigen Zähnen bearbeitet werden. Zur Herstellung von Fräsern, Gewindebohrern und ähnlichen Werkzeugen sind 2 Satz Wechselräder mit entsprechenden Scheren angeordnet. Die Schwierigkeit, die Spirale mit hohen Steigungen durch Wechselräder zu ermöglichen, ist durch den Einbau eines an der hinteren Seite des Bettes und Spindelkastens angebrachten Differentialgetriebes ermöglicht. Die vor- und rückläufige Bewegung des Stahlhalters beim Drehen erfolgt durch ein Kurvenräderpaar, das in dem unteren Support eingebaut ist.

Abbildung 42. Hinterdrehbank.

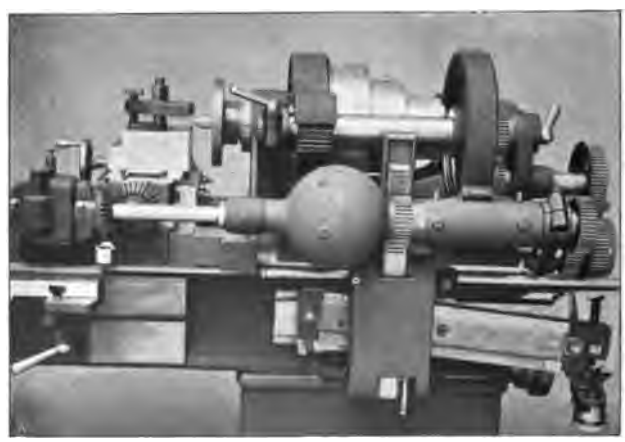


Abbildung 42a. Rückansicht von Abbildung 42.

Bis vor wenigen Jahren hatte die Drehbank den Zweck, die rotierenden Teile nicht nur auszuschruppen, sondern auch fertigzustellen. Da aber die Sauberkeit und die Genauigkeit der reinen Drehbankarbeiten in den meisten Fällen nicht den Anforderungen entspricht, wie sie bei vielen Maschinenteilen gefordert werden, so wurden die Teile nach dem Drehen

unter Zuhilfenahme von Feile und Schmirgelleinwand geschlichtet und bei Bedarf poliert. Neuerdings wird diese Arbeit der Fertigstellung der Teile nicht mehr auf Drehbänken, sondern auf Schleifmaschinen ausgeführt. Man hat zu diesem Zweck Schleifmaschinen konstruiert, mit denen man in kürzerer Zeit diese Arbeiten ausführen kann als auf der Drehbank. Während man im vorigen Jahrhundert die gewöhnlichen Rundschleifmaschinen fast nur zum Schleifen gehärteter oder außerordentlich genauer Teile benutzte, ist man heute dazu übergegangen, die Schleifmaschine als Zusatzmaschine der Drehbank zu betrachten und die Arbeiten so herzustellen, daß man sie zunächst auf der in Abbildung 43 dargestellten Schruppdrehbank ausschruppt, die Bunde, Schultern und Gewinde auf der Drehbank ausführt und die Schlichtarbeiten schließlich auf der Schleifmaschine bewerkstelligt. Diese neueren Schleifmaschinen sind von so außerordentlicher Leistungsfähigkeit, daß Materialzugaben bis 1 mm schneller abgenommen werden, als dies auf der Drehbank möglich ist.

Abbildung 43. Drehbank in normaler Bauart.

Die in Abbildung 44 dargestellte Nortonschleifmaschine, eine Konstruktion des Amerikaners Ch. Norton, hat bei der Bearbeitung von Rotationskörpern eine bedeutende Umwälzung seit ihrem Erscheinen hervorgerufen. Sie dient ausschließlich zum Schleifen zylindrischer oder schwach konischer Teile und ist in ihren Spezialausführungen für eine große Reihe von Arbeiten brauchbar, die auf der Drehbank oft nur unter besonderen Schwierigkeiten ausgeführt werden können. Sie charakterisiert sich besonders durch eine ziemlich große und verhältnismäßig breite Schmirgelscheibe und einen außerordentlich starken Antrieb. Die Werkstücke werden in eigentümlich geformten Lünetten aufgenommen, und zwar werden zur Erzielung guter und schneller Arbeit so viel Lünetten gegen das Arbeitsstück gesetzt, als es dieses zuläßt. Auch hier sind sämtliche Handgriffe, die zur Veränderung von Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten, zum Anhalten und Anlaufen der Maschine usw. dienen, so angeordnet, daß der die Maschine bedienende Mann sie vom Platz aus bewerkstelligen kann. Die Zustellung der Schleifscheibe geschieht selbsttätig und kann zwischen 0,005 und 0,1 mm reguliert werden. Die Bewegung des Tisches sowohl als die Umdrehungsgeschwindigkeit des Arbeitsstückes ist in weiten Grenzen regulierbar. Die Spanabnahme bei jedem Hin- und Hergang des Arbeitsstückes beträgt beim Schruppen gewöhnlich 0,06 bis 0,08 mm, und da die Vorschubgeschwindigkeit des Tisches pro Umdrehung des Arbeitsstückes gewöhnlich 40—50 mm beträgt, so erklärt sich hieraus die außerordentliche Leistungsfähigkeit der Maschine.

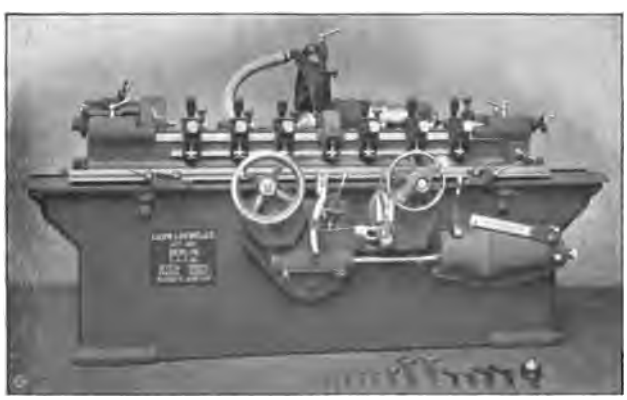


Abbildung 44. Rundschleifmaschine.

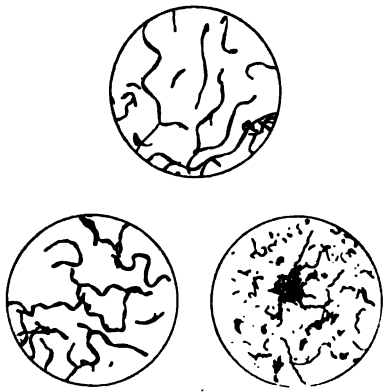


Abbildung 45. Oben: Späne von weichem Stahl. Unten links: Späne von Gußstahl. Unten rechts: Späne von gehärtetem Stahl.

Diese Rundschleifmaschinen werden in Zukunft in der Metallbearbeitung eine außerordentliche Rolle, ähnlich wie die Drehbank, spielen, und es dürfte wenige Werkstätten geben, in denen sie nicht mit Erfolg benutzt werden könnten. Allerdings scheint diese Zeit noch nicht gekommen zu sein, denn die Kenntnis der Vorgänge beim Schleifen sind noch recht wenig bekannt. Bezüglich der Wirkungsweise der Schleifscheibe muß darauf hingewiesen werden, daß die Wirkung einer korrekt arbeitenden Schleifscheibe bzw. der einzelnen Schmirgelkörner derjenigen des Drehstahls ganz ähnlich ist. Die Schleifmaschine ist, wie die Drehbank, eine spanabhebende Maschine, und die in Abbildung 45 wiedergegebenen vierfach vergrößerten Schleifspäne zeigen deutlich die späneartige Materialzerteilung. Aus der sehr großen Anzahl der Schmirgelkörner und der hohen Umfangsgeschwindigkeit, der man die Schleifscheibe unterwerfen kann, geht einerseits die hohe Leistungsfähigkeit trotz der geringen Größe des einzelnen Spans hervor, anderseits aber erklärt sich dabei die Schwierigkeit, ein Werkzeug mit derart vielen kleinen Schneiden scharfzuhalten, denn die Anzahl der Schneiden einer Scheibe von 500 mm Durchmesser und 50 mm Breite beträgt im Mittel ca. 10 Millionen. Bedenkt man, daß eine derartige Scheibe bei einer Umdrehungszahl von ca. 1100 pro Minute bei jeder dieser Umdrehungen jedes in der Peripherie derselben liegende Körnchen zum Schnitt führt, so kann man sich die Leistungsfähigkeit einer derartigen Schleifscheibe leicht erklären. Die eigenartig geformten Lünetten sind in Abbildung 46 und 47 wiedergegeben. In Abbildung 48 sind zwei typische Arbeitsstücke dargestellt, von denen das obere das vorgeschruppte Stück mit den abgedrehten Spänen zeigt, während das untere das fertiggeschliffene Stück darstellt. An dem vorgeschruppten Stück kann man ersehen, wie außerordentlich starke Vorschübe beim Ausschruppen genommen werden können. Um die Leistungsfähigkeit der Schleifmaschine zu illustrieren, sei ein typisches Beispiel gewählt. Es soll eine Stahlwelle mit 65 mm Durchmesser auf 55 mm fertig bearbeitet werden bei einer Länge von 350 mm. Auf der Drehbank würde das Schruppen und Schlichten mittels Schnelldrehstahls und das Nacharbeiten von Hand eine Arbeitszeit von ca. 40 Minuten erfordern. Beim Vorschruppen mittels Schnelldrehstahls auf der Drehbank und Fertigschleifen auf der Schleifmaschine bei einer Materialzugabe von 0,4—0,8 mm im Durchmesser würde die gesamte Arbeitszeit nur ca. 12 Minuten betragen. Das würde eine Zeitersparnis von etwa 70 % ergeben, und dabei wäre noch der Vorteil vorhanden, daß beide Operationen, sowohl das Drehen wie auch das Schleifen, von weniger geübten Arbeitern ausgeführt werden könnte, denn die Handhabung der

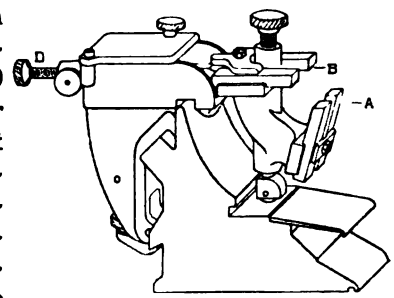


Abbildung 46. Lünetten zur Nortonschleifmaschine Abbildung 44.

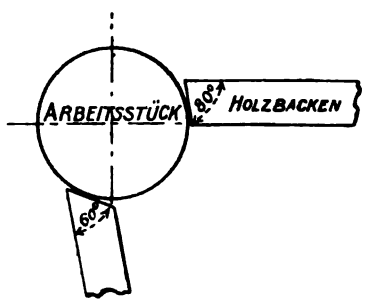


Abbildung 47. Wirkungsweise der Lünette Abbildung 46.

Schleifmaschine läßt sich von einem intelligenten Arbeiter in wenigen Stunden erlernen.

Die bisher beschriebenen Maschinen, verschiedene Drehbänke und die Schleifmaschinen waren in ihrer Art mehr oder weniger Universalmaschinen zur Herstellung von Rotationskörpern und werden im allgemeinen sowohl zur Einzelfabrikation als auch zur Massenherstellung benutzt. Die folgenden Maschinen, Revolverdrehbänke und automatische Revolverdrehbänke, sind Maschinen, deren Verwendung eine Massenfabrikation oder doch wenigstens die Herstellung einer größeren Anzahl gleicher Teile voraussetzt. Die verschiedenen Konstruktionen der Revolverdrehbänke unterscheiden sich hauptsächlich in der Art, wie der Revolverkopf, der zur Aufnahme der Werkzeuge dient, gelagert ist. Es gibt zwei Hauptarten, solche mit horizontalem und solche mit vertikalem, um die horizontale Achse drehbarem Revolverkopf. Beide Konstruktionen haben ihre Vorteile und ihre Nachteile, doch sind die Revolverköpfe mit vertikaler Achse mehr gebräuchlich. Ähnlich wie bei der Drehbank ist in den meisten Fällen (siehe Abbildung 49) ein Support angebracht, der zur Aufnahme zweier oder mehrerer Werkzeuge dient, und an Stelle des Reitstockes tritt der Revolverkopf, dessen Bohrungen ebenfalls zur Aufnahme der Werkzeuge bestimmt sind. Beide Werkzeugträger, Support und Revolverkopf, können nacheinander oder gleichzeitig zum Arbeiten gebracht werden. Der Revolverkopf ist gewöhnlich so eingerichtet, daß er bei der Rückbewegung durch das an der Vorderseite sichtbare Handkreuz sich selbsttätig um seine Achse dreht, so daß nacheinander sämtliche in den Bohrungen befindliche Werkzeuge zum Schneiden kommen. Bei der dargestellten Revolverdrehbank sind ebenfalls sämtliche Bewegungen selbsttätig und können auch selbsttätig durch einstellbare Anschläge ausgelöst werden. Die verschiedenen Geschwindigkeiten der Arbeitsspindel sind während des Ganges der Maschine einrückbar, ebenso die verschiedenen Vorschubgeschwindigkeiten des Revolverkopfes sowie des Supports. Beim Revolverkopf ist am hinteren Ende eine Trommel mit sechs verschiedenen Anschlägen angeordnet, von denen jeder für das entsprechende Werkzeug im Revolverkopf bestimmt ist, so daß die Einstellung der Werkzeuge unabhängig voneinander erfolgen kann. Unter dem Bett befindet sich eine Mulde zum Auffangen der Späne und des Kühlmaterials und unter dieser das Sammelgefäß für das Kühlmaterial. Eine Pumpe saugt aus diesem Sammelgefäß das Kühlmaterial und bringt es durch eine Rohrleitung

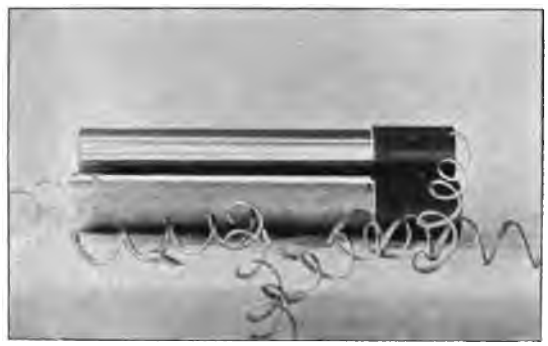


Abbildung 48. Oben: Geschliffenes Stück. Unten: Geschrupptes Stück.

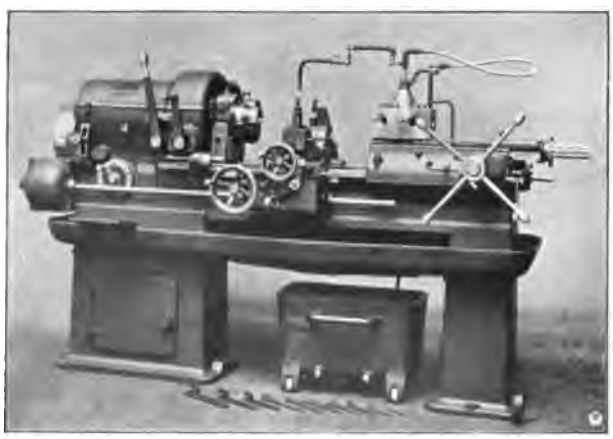


Abbildung 49. Revolverdrehbank, halbautomatisch.

auf die schneidenden Werkzeuge. Eine weitere Vervollkommnung der selbsttätigen Revolverdrehbank ist die in Abbildung 50 dargestellte automatische Revolverdrehbank. Während bei der vorigen die Bewegungen durch Einschalten von Hand eingeleitet werden mußten, geschieht bei dieser der ganze Arbeitsvorgang vollkommen selbsttätig, bis auf das Einbringen des Rohmaterials. Das aus Stangen zu verarbeitende Rohmaterial wird von dem Arbeiter in die Spindel eingeführt, und die übrigen Arbeitsoperationen erfolgen selbsttätig derart, daß das Vorschieben des Materials sowie sämtliche Arbeitsoperationen nacheinander durch Mechanismen betätigt werden, die für die verschiedenen herzustellenden Stücke einstellbar sind. Revolverkopf und Abstechsupport sind, wie bei der vorigen Maschine, mit Einrichtung zur Aufnahme der Werkzeuge ausgestattet. Die Maschine besitzt Einrichtungen für Rechts- und Linksgang der Arbeitsspindel, selbsttätig einstellbare Vorschubgeschwindigkeiten und die verschiedenen Längen der einzelnen Vorschübe werden durch ablesbare Millimetereinteilung reguliert. Der Hauptvorzug dieser Maschine liegt darin, daß die Bedienung sich nur auf die Beaufsichtigung der Maschine und der Werkzeuge sowie der Abnahme der fertiggestellten Stücke erstreckt.

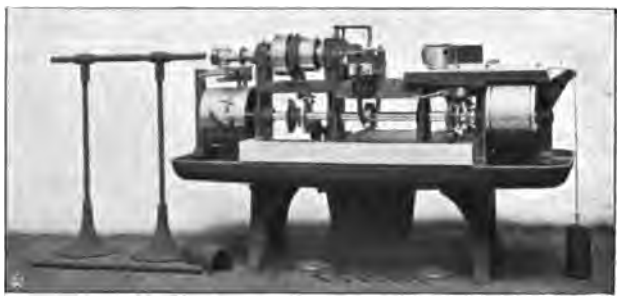


Abbildung 50. Ganzautomatische Revolverdrehbank.

Die Konstruktion der Maschine hat den Vorteil, daß ein einziger Riemen den ganzen Mechanismus antreibt, und daß die sämtliche Mechanismen bewegenden Kurven nicht zum Auswechseln, sondern einfach zum Verschieben eingerichtet sind.

Die Herstellung von Rotationskörpern, wie sie auf der Revolverdrehbank und auf der automatischen Revolverdrehbank vorkommen, kann auch in etwas beschränkterem Maße auf der Rundfräsmaschine stattfinden; während dort die schneidenden Werkzeuge einfache Stähle sind, kommen bei Rundfräsmaschinen Fräser zur Anwendung, die das negative Profil der herzustellenden Teile haben.

In Abbildung 51 ist die Maschine und in Abbildung 52 und 53 sind die auf der Maschine hergestellten Teile zu sehen. Das Verfahren eignet sich besonders da, wo komplizierte Formen die Ausführung der Dreharbeit erschweren, und die Maschine läßt in diesen Fällen Ersparnisse um 75 bis 80 % zu. Die Teile werden auf einen Dorn gesteckt, indem sie sich mit demselben in umgekehrter Drehrichtung wie die schneidenden Werkzeuge, die auf der zweiten Spindel der Maschine sitzen, drehen.

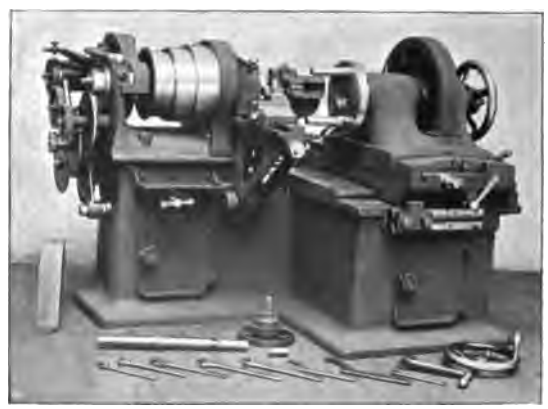


Abbildung 51. Rundfräsmaschine.

Die Herstellung von Gewinden, speziell von solchen mit trapezförmigem Querschnitt und von Spitzgewinden, die allgemein auf der Drehbank mittels Gewindestahl, auf der Revolverdrehbank und der automatischen Revolverdrehbank mittels Schneideisen erfolgt, kann auch auf zu diesem Zwecke konstruierten Spezial-Gewindefräsmaschinen (Abbildung 54) stattfinden. Be-

sonders die Herstellung von tiefen und steilen sowie auch mehrgängigen Gewinden geht auf diesen Fräsmaschinen viel schneller vonstatten als auf der Drehbank, da der Fräser dem Drehstahl gegenüber insofern im Vorteil ist, als er das ganze Profil mit einem Male herausarbeitet, während beim Drehstahl nur feine Späne genommen werden können und für die Abnahme eines neuen Spanes der Support seinen Weg zurückläuft und wieder von vorn anfangen muß.

Abbildung 52. Rundgefräste Teile.

Außerdem können auf der Maschine auch Schnecken und Schraubenräder hergestellt werden, wie in den Abbildungen 55 und 56 dargestellt.

Die sämtlichen bis jetzt beschriebenen Maschinen dienen, wie schon erwähnt, zur Herstellung von Rotationskörpern und unterscheiden sich wesentlich in ihrer Funktion von den im folgenden beschriebenen Hobelmaschinen und Fräsmaschinen, die im allgemeinen dazu dienen, die ebenen Flächen an Teilen zu bearbeiten.

Abbildung 53. Fräser mit halbgefrästem Werkstück.

Bei der Hobelmaschine werden die betreffenden Stücke auf dem Tisch festgespannt und bewegen sich gegen den in dem Support festgespannten Stahl, so daß dieser zum Schneiden kommt. Durch die Seitenbewegung des Supports wird der Vorschub erzielt und der Vor- und Rücklauf der Maschine durch eine Umsteuerung, die in dem seitlich angebrachten Antriebe durch Anschläge erfolgt. In Abbildung 57 ist eine Hobelmaschine dargestellt, die mit elektrischem Antrieb versehen ist, und bei der durch einen regulierbaren und reversierbaren „Stufenmotor" verschiedene Schnitt- und Rücklaufgeschwindigkeiten erzielt werden können. Der Motor bildet eine Illustration zu dem auf S. 417 Gesagten; während nämlich im allgemeinen die Hobelmaschinen nur mit zwei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten und einer Rücklaufgeschwindigkeit ausgerüstet sind, kann durch den Stufenmotor eine ganze Reihe einzelner Schnittgeschwindigkeiten erzielt werden. In anderen Fällen hat man

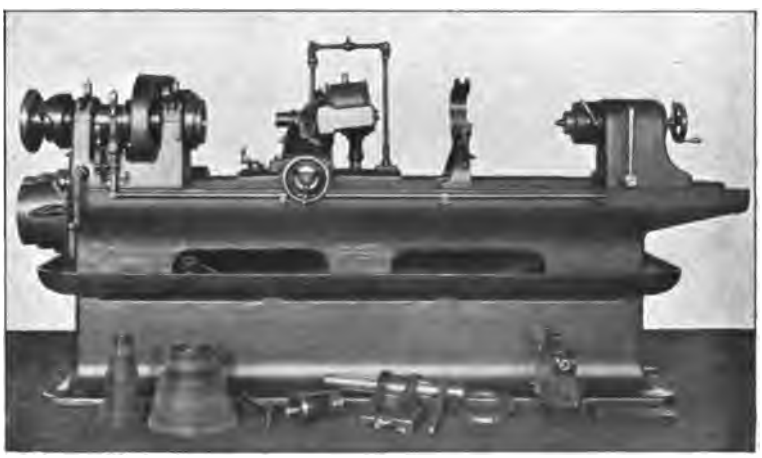


Abbildung 54. Gewindefräsmaschine.

für die Erzielung der verschiedenen Geschwindigkeiten Räderkasten vorgeschaltet, die sich aber bisher infolge der hohen Geschwindigkeiten und unbequemen Handhabung wenig bewährt haben. Die Hobelmaschinen dienen zur Herstellung ebener und profilierter Flächen und können ganz allgemein als diejenigen Maschinen bezeichnet werden, an deren Konstruktion im Laufe dieses Jahrhunderts am wenigsten getan wurde. Die vielfachen Versuche, den Stahl auch beim Rücklauf des Tisches schneiden zu lassen, sind gescheitert, und deshalb bildet die Hobelmaschine heute noch ein Werkzeug, dessen Ausnutzung mit ziemlich großem Zeitverlust verbunden ist. — Die größte Schwierigkeit, eine höhere Leistung bei den Hobelmaschinen zu erzielen, besteht in der Bewältigung der lebendigen Kraft bei der Umschaltung des Vor- und Rücklaufes des Tisches.

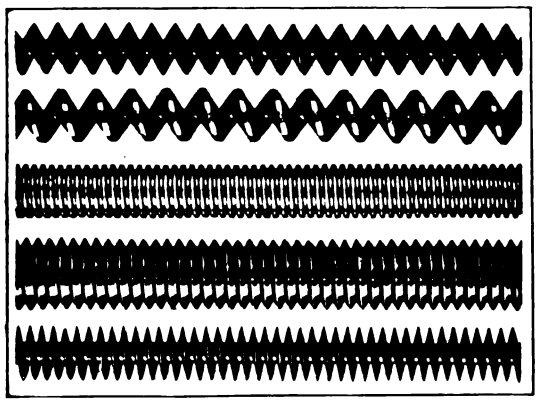


Abbildung 55. Auf Maschine Abbildung 55 gefräste Gewinde.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei den Fräsmaschinen. Hier ist, ähnlich wie bei den Drehbänken, seit Anfang des Jahrhunderts ein kolossaler Fortschritt zu verzeichnen, und nicht nur die Schnittgeschwindigkeiten der verwendeten Fräser, sondern auch die Vorschubgeschwindigkeiten sind proportional mit der Leistungsfähigkeit des Schnellschnittstahls gewachsen, so daß eine Maschine mit dem gleichen Gewicht wie im vorigen Jahrhundert ca. das Fünf- bis Sechsfache leistet. Die Spanmengen, die bei einer solchen Maschine erzeugt werden können, haben wir bereits auf S. 420 in dem Versuchsbericht wiedergegeben. Natürlich muß bei der Konstruktion einer derartigen gegen früher ungleich mehr angestrengten Maschine nicht nur die Stärke der einzelnen Mechanismen den aufgewendeten Kräften entsprechen, sondern es muß auch zur Erzielung der nötigen Geschwindigkeiten mit ganz anderen Zahlen gerechnet werden.

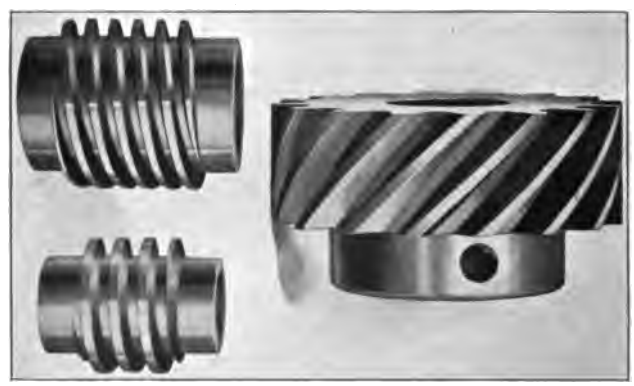


Abbildung 56. Einfache und doppelgängige Schnecke und Schraubenrad. Auf Maschine Abbildung 55 gefräst.

Die in Abbildung 58 dargestellte Universalfräsmaschine dient nicht nur zur Herstellung von Flächen, sondern es werden auf derselben zwischen den Spitzen des Universalteilkopfes und des Reitstockes auch alle möglichen Fassonarbeiten hergestellt, wie z. B. das Schneiden der Zähne in Zahnrädern oder Fräsern, das Fräsen der Spiralnuten in Spiralbohrern, die Herstellung von Zahnkuppelungen, mit einem Worte solche Arbeiten, bei denen zur Erzeugung einer auf der Peripherie sich wiederholenden Nut oder eines Einschnittes das Stück im Umfange in verschiedene Teile eingeteilt wird. Da die Maschine außerdem für die gewöhnlichen Fräsarbeiten brauchbar ist, so ist sie in ihrer Anwendung als Fräsmaschine ziemlich universell, und erst in neuerer Zeit hat man durch die Konstruktion verschiedener, speziellen Zwecken

dienender Maschinen, wie Räderfräsmaschinen, Kegelradhobelmaschinen und dergleichen, das Feld ihrer Anwendung eingeengt.

Die zur Erzeugung der Zähne in Zahnrädern dienenden Maschinen kann man in zwei Gruppen einteilen, in solche, die zur Erzeugung der Zähne Fräser erfordern, die bereits das Profil der Zahnlücke besitzen, und in solche, die entweder durch Hobeln oder durch Fräsen die Zahnform selbsttätig durch ihre Bewegung erzeugen. In Abbildung 59 ist eine Maschine dargestellt, die nach dem ersteren Verfahren arbeitet. Das Einfräsen der Zähne geschieht, indem das zu fräsende Rad, nachdem der Fräser einen Zahn fertiggestellt hat und der Frässupport an seinen Anfangspunkt zurückgelaufen ist, selbsttätig um eine Teilung weitergeschaltet wird, worauf das Spiel von neuem beginnt.

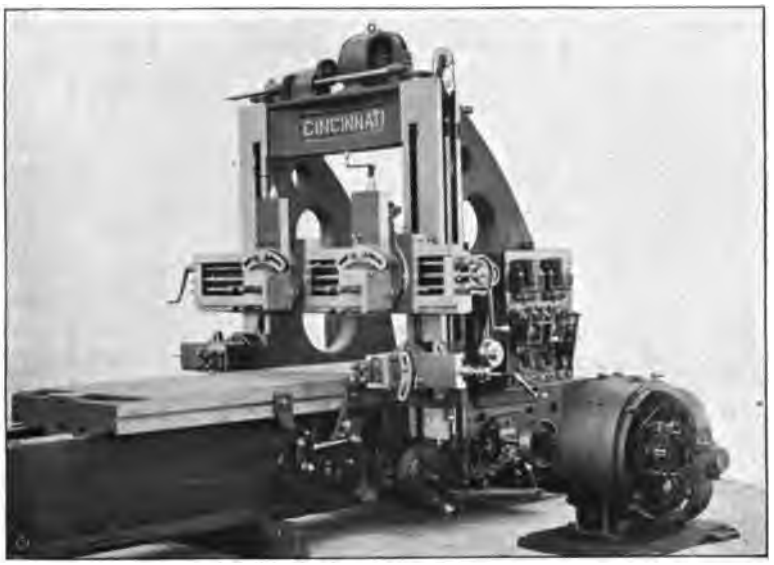


Abbildung 57. Hobelmaschine mit elektrischem Antrieb durch „Stufenmotor" mit Rechts- und Linksgang.

Die zweite Art der Maschinen für die Bearbeitung von Zahnrädern sehen wir in Abbildung 60. Die Zahnform wird dadurch erzeugt, daß das Werkzeug und das herzustellende Rad sich in gleicher Weise gegeneinander bewegen, in der die zur Formgebung der Zähne benutzten Kurven (Evolventen) erzeugt werden. Das Verfahren ist besonders wichtig bei der Herstellung von Kegelrädern und hat uns überhaupt erst die Möglichkeit gebracht, die Zähne der Kegelräder den theoretischen Formen entsprechend auszuführen.

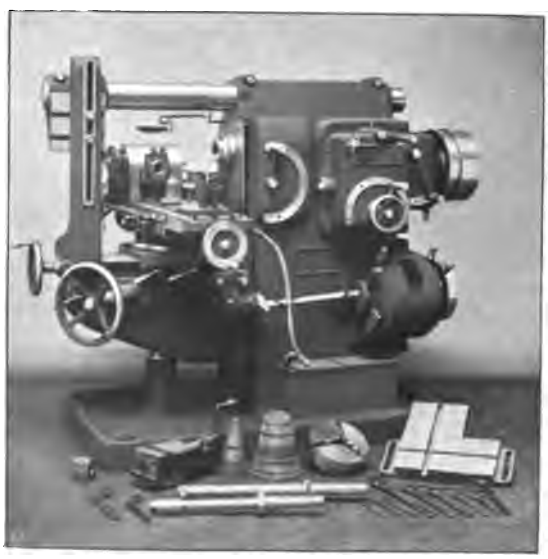


Abbildung 58. Universalfräsmaschine mit automatisch arbeitendem Teilmechanismus.

Die bisher beschriebenen Maschinen bewegten sich in Dimensionen, wie sie im Maschinenbau und in den meisten Massenfabrikationswerkstätten gebraucht werden. Dagegen finden in der Herstellung größerer Dampfmaschinen und Dampfturbinen im Schiffbau und in der Geschützfabrikation Maschinen Verwendung, deren Dimensionen außerordentlich groß sind. Die Gewichte derartiger Maschinen steigen nicht selten auf mehrere hunderttausend Kilogramm, und ihre Konstruktion ist fast immer den besonderen Erfordernissen der Zwecke, für

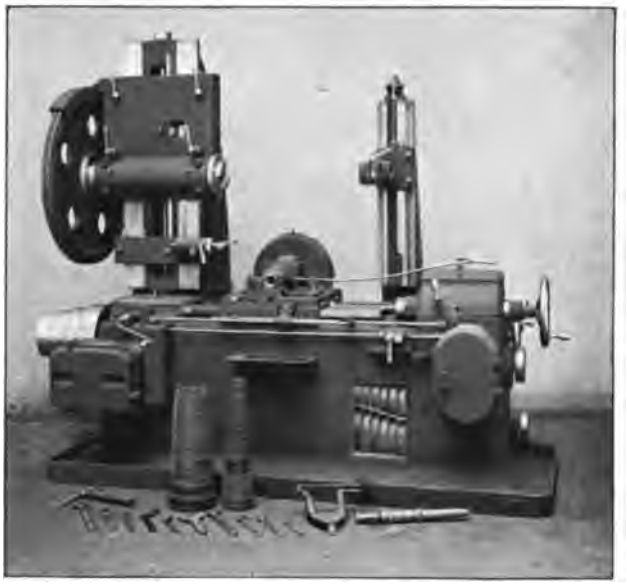


Abbildung 59. Automatische Räderfräsmaschine für Stirnräder nach dem „Teilverfahren" arbeitend.

die sie bestimmt sind, angepaßt, daß man sie als Spezialmaschinen bezeichnen kann. Ihre Herstellung geschieht selten gleichzeitig in mehreren Exemplaren, während die Fabrikation der vorhin beschriebenen Maschinen sich zum Teil zur Massenfabrikation ausgebildet hat.

Ebenso ist die Handhabung derartiger Maschinen grundverschieden von denen kleiner und mittlerer Dimensionen. Bei den kleinen Maschinen kann es vorkommen, daß für die Bedienung von zehn Maschinen nur ein Mann erforderlich ist. Bei den ganz großen Maschinen sind oft mehrere Leute zur Bedienung nötig. Die gewaltigen Dimensionen erfordern besondere Einrichtungen, um sie für die Bedienungsmannschaften zugänglich zu machen. Die Supportbewegungen sind meist derart eingerichtet, daß eine schnelle Bewegung zum Einstellen dient und eine Anzahl langsamer Bewegungen die Vorschübe betätigt.

Ein Vergleich der in Abbildung 34 gezeigten Drehbank und der Abbildung 61 (auf S. 435) zeigt die Unterschiede deutlich genug. Das Gewicht der ersteren beträgt etwa 2000 kg, das Gesamtgewicht der letzteren betrug 396000 kg.

Diese von der Deutschen Niles-Werkzeugmaschinenfabrik gebaute Drehbank ist eine der größten existierenden Maschinen dieser Art. Sie hat bei 2600 mm Spitzenhöhe die Fähigkeit, Stücke bis ca. 5,2 m Durchmesser zu bearbeiten. Die größte Länge der zu bearbeitenden Stücke beträgt 16 m. Der Antrieb geschieht durch einen Elektromotor von 75 P. S. direkt, denn derartig schwere Maschinen treibt man heute ausschließlich durch besondere Motoren, und hier ist in jedem Falle der elektrische Antrieb vorteilhaft. Das Bett ist als Doppelbett ausgebildet, und zur bequemen Bedienung der einzelnen Mechanismen sind die Hauptteile mit

Abbildung 60. Automatische Kegelräderfräsmaschine, nach dem „Abwälzeverfahren" arbeitend.

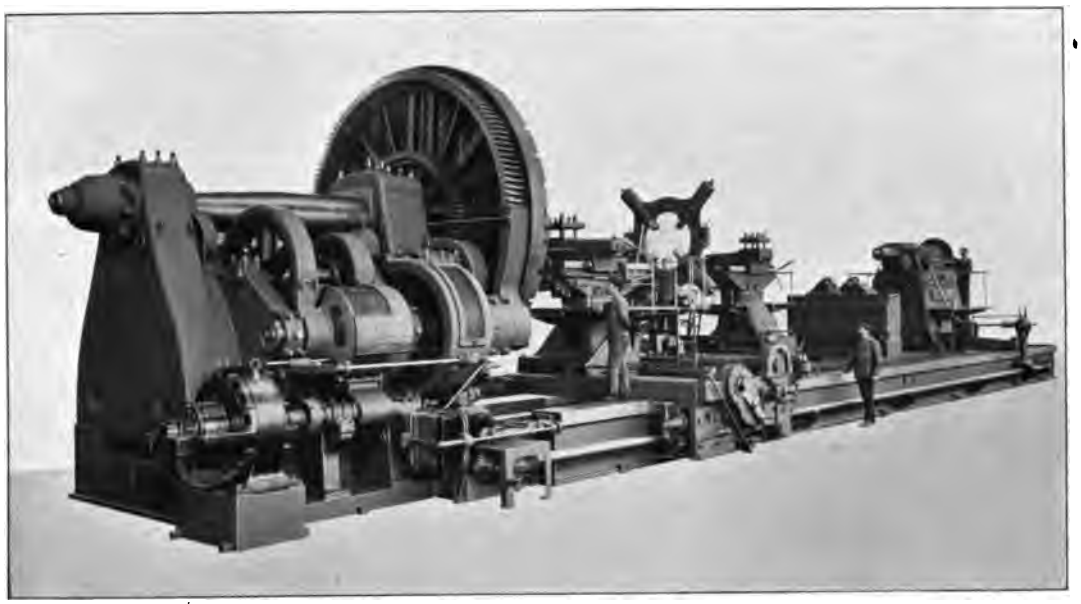


Abbildung 61. Schwere Drehbank.

Plattformen, Geländern und Treppen versehen. Aber zum Drehen großer Seilscheiben, Dynamogehäuse etc. reichen auch die obengenannten Dimensionen nicht aus. Zu diesen Zwecken benutzt man Karusselldrehbänke. Diese Maschinen sind im Grunde nichts anderes als auf den Kopf gestellte Drehbänke mit stark vergrößerter Planscheibe und ohne Reitstock. Sie können also zu Arbeiten „zwischen den Spitzen" nicht verwendet werden. Abbildung 62 ist eine Maschine für 8 m Drehdurchmesser; die Planscheibe hat einen Durchmesser von 6 m. Die größte Aufnahmehöhe ist 3100 mm, und ihr Gewicht ist 175000 kg. Die größten derartigen Maschinen erlauben das Bearbeiten von Stücken mit ca. 15 m Durchmesser.

Obwohl die Konstruktion dieser Karusselldrehbänke schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts bekannt war, so hat ihre ausgedehnte Verwendung doch erst im neuen Jahrhundert stattgefunden, und ihre heutige Form ist recht eigentlich ein Konstruktionsergebnis der letzten Jahre.

Auch die Langfräsmaschine (Abbildung 63) kann als Produkt der beiden letzten Jahrzehnte angesehen werden. Sie ist mit zwei Frässchlitten am Querbalken und einem Frässchlitten am rechten Ständer ausgerüstet. Jeder der drei Frässchlitten besitzt eine langsamlaufende Hauptspindel für schwere und eine schnellaufende Nebenspindel für leichte Arbeiten. Der Antrieb für jeden Frässchlitten erfolgt durch einen besonderen Motor. Die Maschine hat ca. 4,5 m Durchgang zwischen den Ständern und 8 m Fräslänge. Das Gewicht beträgt ca. 140000 kg. Diese Maschinen werden mit großem Vorteil in Konkurrenz mit den Hobelmaschinen da verwendet, wo die gleichzeitige Bearbeitung mehrerer Flächen angängig ist.

Die beschriebenen Werkzeugmaschinen bilden nur die markantesten Typen der verschiedenen Gattungen, die für allgemeine Zwecke gebraucht werden. Enger begrenzt ist die auf den Pressen und Scheren zu leistende Arbeit, und schließlich sind die sogenannten Spezialmaschinen oft nur für eine bestimmte Operation an gewissen Teilen zu gebrauchen.

8. DIE WERKZEUGMASCHINE IN DER MASSENFABRIKATION.

A. DAS PRINZIP DER ARBEITSTEILUNG. Massenfabrikation und Arbeitsteilung. Um eine Zeit zu finden, in welcher der Begriff „Arbeitsteilung" so gut wie unbekannt war, haben wir kaum nötig, große Zeiträume zurückzublicken. In der Maschinenindustrie gibt es heute noch Fabriken, in denen die Teilung der Arbeit nur in sehr geringem Maße durchgeführt ist; im Handwerk ist sie meist gar nicht bekannt, obwohl sie auch dort möglich ist. Beim kleinen Handwerker, der allein, d. h. ohne Gesellen und Lehrlinge arbeitet, ist sie aber ebensogut möglich wie in der Fabrik. Vorbedingung für die Arbeitsteilung ist die gleichzeitige Herstellung mehrerer gleicher oder ähnlicher Arbeitsstücke oder das Vorhandensein mehrerer Arbeiter.

Ein Beispiel möge den Begriff erklären. Ein Schuhmachermeister fertigt ein paar Stiefel an. Er arbeitet Schaft und Blatt für den einen Stiefel vor und zwickt diese Teile auf den Leisten. Dann wird der andere ebensoweit vorgearbeitet, während der erste liegen bleibt; darauf wird bei beiden Brandsohle und Sohle aufgenagelt und schließlich bei beiden der Absatz. Diese Arbeiten könnten auch derart ausgeführt werden, daß der Meister die erste Arbeit an dem einen Stiefel ausführt und ihn zur Ausführung der zweiten an den Gesellen weitergibt usw. In beiden Fällen findet eine Teilung der Arbeit statt. Hätte der Meister den rechten und der Geselle den linken Stiefel fertig bearbeitet, so könnte man nicht von Arbeitsteilung sprechen,

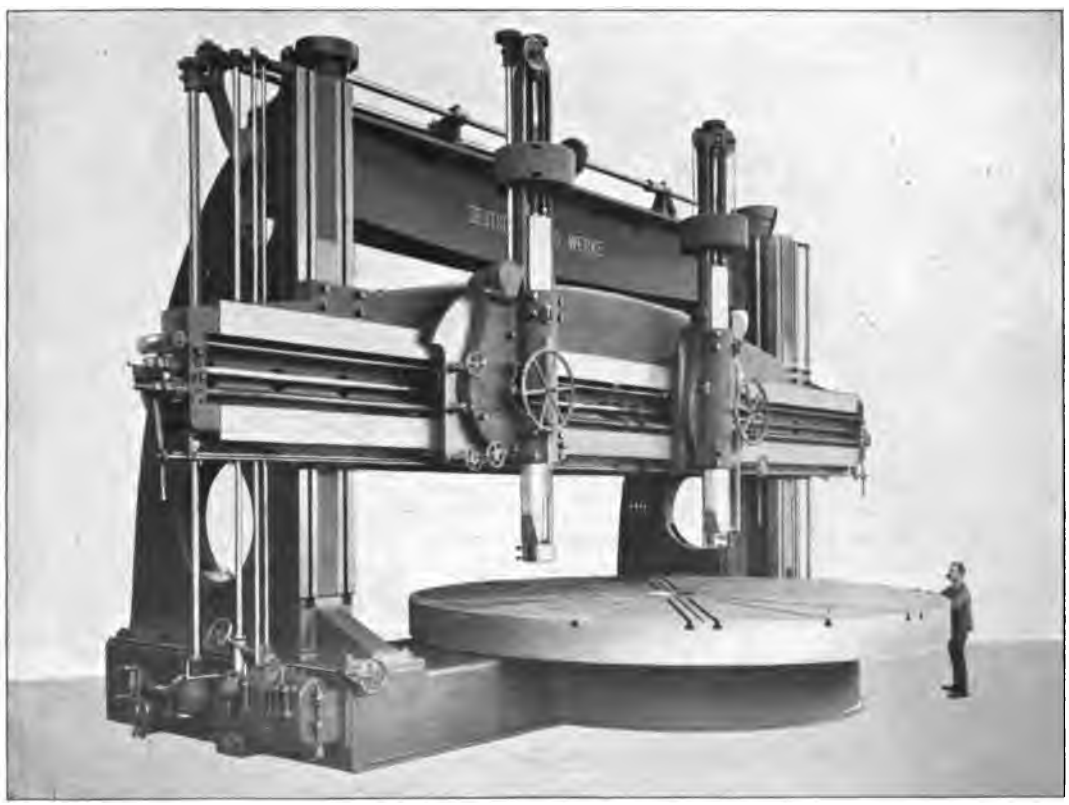


Abbildung 62. Großes Vertikaldrehwerk, sog. „Karussell".

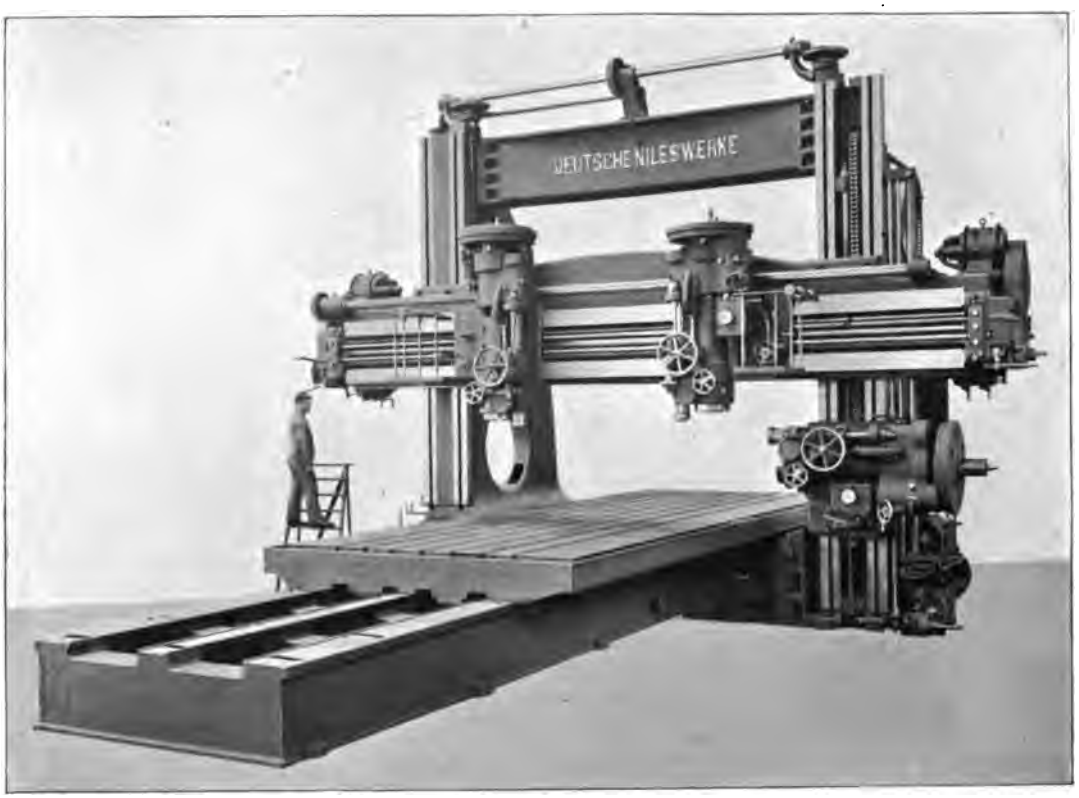


Abbildung 63. Fräsmaschine mit 2 vertikalen und 1 horizontalen Frässchlitten und je 1 Nebenspindel.

denn man versteht darunter die Zerlegung einer Arbeit in gewisse Abschnitte. Das Beispiel zeigt deutlich, daß die Teilung der Arbeit nicht durch Massenherstellung bedingt ist, anderseits bedingt aber rationelle Massenfabrikation immer Arbeitsteilung.

Die Arbeitsteilung hat stets den Zweck, durch Verringerung der aufgewendeten Löhne die Selbstkosten der Fabrikate zu ermäßigen. In der Einzelfabrikation ist sie oft mit großen Schwierigkeiten verbunden, und von der Organisation des ganzen Betriebes ist es abhängig, wieweit sie durchführbar ist. Man könnte behaupten, daß es nur hochentwickelten Betrieben möglich ist, eine weitgehende Arbeitsteilung durchzuführen, denn sie ist immer ein Produkt durchgreifender und systematischer Arbeitsdispositionen von seiten der Betriebsleitung und fordert demgemäß von dieser Seite nicht nur eine stetige Überwachung, sondern auch einen fortschreitenden, der ververänderten Konstruktion der Fabrikate und Betriebsmittel angepaßten Entwicklungsgang. Die Einzelherstellung der Teile bringt es von vornherein mit sich, daß nicht gleiche, sondern nur gleichartige Arbeiten von denselben Leuten oder auf denselben Maschinen ausgeführt werden können. Zerlegt man nämlich die Bearbeitung einzelner Teile in ihre einzelnen Operationen, so findet man, daß bei vielen Teilen gleichartige Arbeiten vorkommen. So kann z. B. das Bearbeiten der Bohrungen bei Riemenscheiben, Rädern, Kupplungen, Lagern und anderen ähnlichen Teilen, wie sie bei jeder Maschine mehrfach vorkommen, meist auf derselben Maschine ausgeführt werden. Die Bearbeitung der Naben dieser und ähnlicher Teile kann ebenfalls wieder

auf einer anderen Maschine geschehen, desgleichen das Schneiden der Gewinde an Wellen, Bolzen und Spindeln usw.

Die Vorteile dieses Verfahrens leuchten leicht ein. Es kann für jede dieser speziellen Arbeiten die passendste Maschine benutzt und deren Einrichtung und Werkzeuge ohne besondere Vorbereitungen, d. h. ohne Zeitverlust verwendet werden. Auch der Arbeiter, der die Maschine bedient, ist diesen Zwecken besonders angepaßt. Je nachdem die Arbeit mehr oder weniger Intelligenz verlangt, wird er entsprechend ausgewählt. Er wird infolge der fortwährenden Wiederholung dieser Arbeiten zum Spezialisten und leistet als solcher gewöhnlich mehr. In der heutigen Zeit, in der so viel über den Rückgang der Fertigkeiten der gelernten Arbeiter geklagt wird, hat das Verfahren auch noch den besonderen Vorteil, daß man für diese einfachen Arbeiten leicht Arbeiter anlernen kann, so daß man nicht von den gelernten Arbeitern abhängig ist oder doch nicht nötig hat, von ihnen Fertigkeiten in weiten Grenzen zu verlangen. Mit anderen Worten, man darf von geringeren Arbeitskräften viel bzw. gute Arbeiten erwarten. Weiter ist die Möglichkeit vorhanden, bei Arbeitsoperationen, für die verschiedene Verfahren möglich sind, das rationellste auszuwählen. Der Kranz eines Zahnrades, eines Handrades, einer Riemenscheibe oder dgl. kann ebensogut auf der Drehbank, Revolverdrehbank oder Rundfräsmaschine bearbeitet werden, und ein Gewinde kann auf der Drehbank, Revolverdrehbank, Gewindeschneidemaschine, automatischen Gewindedrehbank oder der Gewindefräsmaschine geschnitten werden. Ebenso kann die Hobelmaschine mit der Fräsmaschine, die Schleifmaschine mit der Drehbank konkurrieren usw.

Alle diese Vorteile, die die Arbeitsteilung in der Einzelfabrikation mit sich bringt, weist die Massenfabrikation in erhöhtem Maße auf. Waren es dort nur gleichartige Arbeiten, die durch die Arbeitsteilung von demselben Mann bzw. auf derselben Maschine hergestellt wurden, so sind es hier gleiche Arbeiten; aber hier wie dort wird die gesamte, an einem Stück zu leistende Arbeit in ihre Elemente zerlegt. Es kommt hier aber hinzu, daß durch eine große Anzahl herzustellender Teile die Benutzung von Vorrichtungen, die das schnelle Ein- und Ausspannen der Teile ermöglichen, lohnend ist, und daß sich für die vorteilhafte Bearbeitung spezielle Werkzeuge oder gar Spezialmaschinen bezahlt machen.

Vielfach herrscht beim Laien noch das Vorurteil, daß die in der Massenfabrikation hergestellten Teile den einzeln hergestellten in bezug auf Qualität nicht ebenbürtig, also minderwertig seien. Dagegen muß festgestellt werden, daß die Möglichkeit der Anfertigung präziser und sauber gearbeiteter Teile bei Massenanfertigung ungleich größer ist als bei Einzelanfertigung. Fast immer aber ist bei richtiger Fabrikation der Herstellungspreis in dem Maße niedriger, wie die Masse der hergestellten Teile wächst. Hierzu kommt noch ein besonderer Vorteil: da die Teile durch die Art ihrer Herstellung gleich sind, so sind sie auswechselbar. Dieser letzte Umstand ist von besonderer Wichtigkeit in der Maschinenfabrikation.

B. DIE NORMALISIERUNG DER MASCHINENTEILE. Die Tätigkeit der Maschinenindustrie besteht heute vorwiegend nicht mehr in dem Fassen des konstruktiven Gedankens, wie sie es für unsre Väter gewesen ist, sondern sie besteht meistens darin, für den konstruktiven Gedanken durch weitere Ausbildung der Konstruktion unter Berücksichtigung der Herstellungsmöglichkeiten die wirtschaftlichste Form zu finden. So schreibt F. A. Neuhaus in seinem Aufsatz: Technische Erfordernisse der Massenfabrikation. Dieser Satz führt folgerichtig auch zu dem anderen: Allgemein muß der Grundsatz befolgt werden, Gegenstände, selbst wenn sich für sie schon größere

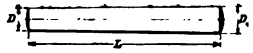


Abbildung 64.

Tabelle normalisierter konischer Stifte.

No.	D mm	L mm	D_1 mm
0a	2	18	2,36
0b	2	20	2,4
0c	2	22	2,44
0d	2	24	2,48
1a	2,5	20	2,9
1b	2,5	22	2,94
1c	2,5	24	2,98
1d	2,5	26	3,02
1e	2,5	28	3,06
1f	2,5	30	3,1
2a	3	22	3,44
2b	3	24	3,48
2c	2	26	3,52
2d	3	28	3,56
2e	3	30	3,6
2f	3	32	3,64
2g	3	36	3,72
2h	3	40	3,8
3a	4	24	4,48
3b	4	26	4,52
3c	4	28	4,56
3d	4	30	4,6
3e	4	32	4,64
3f	4	36	4,72
3g	4	40	4,8
3h	4	45	4,9
3i	4	50	5

No.	D mm	L mm	D_1 mm
4a	5	26	5,52
4b	5	28	5,56
4c	5	30	5,6
4d	5	32	5,64
4e	5	36	5,72
4f	5	40	5,8
4g	5	45	5,9
4h	5	50	6
4i	5	55	6,1
4k	5	60	6,2
5a	6,5	28	7,06
5b	6,5	30	7,1
5c	6,5	32	7,14
5d	6,5	36	7,22
5e	6,5	40	7,3
5f	6,5	45	7,4
5g	6,5	50	7,5
5h	6,5	55	7,6
5i	6,5	60	7,7
5k	6,5	70	7,9
5l	6,5	80	8,1

No.	D mm	L mm	D_1 mm
6a	8	30	8,6
6b	8	32	8,64
6c	8	36	8,72
6d	8	40	8,8
6e	8	55	8,9
6f	8	40	9
6g	8	45	9,1
6h	8	50	9,2
6i	8	70	9,4
6k	8	80	9,6
6l	8	90	9,8
6m	8	100	10,0
7a	10	32	10,64
7b	10	36	10,72
7c	10	40	10,8
7d	10	45	10,9
7e	10	50	11
7f	10	55	11,1
7g	10	60	11,2
7h	10	70	11,4
7i	10	80	11,6
7k	10	90	11,8
7l	10	100	12
7m	10	110	12,2
7n	10	120	12,4

No.	D mm	L mm	D_1 mm
8a	12,5	36	13,22
8b	12,5	40	13,3
8c	12,5	45	13,4
8d	12,5	50	13,5
8e	12,5	55	13,6
8f	12,5	60	13,7
8g	12,5	70	13,9
8h	12,5	80	14,1
8i	12,5	90	14,3
8k	12,5	100	14,5
8l	12,5	110	14,7
8m	12,5	120	14,9
8n	12,5	130	15,1
8o	12,5	140	15,3
8p	12,5	150	15,5
9a	15,5	50	16,5
9b	15,5	55	16,6
9c	15,5	60	16,7
9d	15,5	70	16,9
9e	15,5	80	17,1
9f	15,5	90	17,3
9g	15,5	100	17,5
9h	15,5	110	17,7
9i	15,5	120	17,9
9k	15,5	130	18,1
9l	15,5	140	18,3
9m	15,5	150	18,5
9n	15,5	165	18,8
9o	15,5	180	19,1

Stückzahlen ergeben, wieder aus „normalen" Einzelteilen, die für alle möglichen Verwendungsgebiete wieder in noch größeren Stückzahlen angefertigt werden, zusammenzustellen, um die Vorteile der Massenerzeugung und die vorhandenen Betriebseinrichtungen voll auszunutzen. Das heißt in einfachen Worten: Es soll in jedem Betriebe die Anfertigung einer möglichst großen Anzahl gleicher Teile erstrebt werden. Die Vorzüge und Vorteile der Massenerzeugung sind so große, und die Kenntnis dieser Tatsache ist so allgemein, daß man die Befolgung dieser Lehre als selbstverständlich voraussetzen möchte, aber die Durchführung dieses Gedankens ist bisher nicht allen Fabriken gelungen.

Abbildung 65. Normalisierte Maschinenteile.

Im Maschinenbau hat man eine große Menge von Teilen, die wenigstens dem Namen nach gleich sind, z. B. Schrauben, Muttern, Räder, Riemenscheiben, Griffe, Hebel und viele, viele andere. Bringt man die Formen und Abmessungen aller dieser Teile in bestimmte Normen, so können diejenigen Teile der verschiedensten Maschinen, deren Abmessungen die gleichen sind, als Normalteile in größerer Anzahl hergestellt und eventuell sogar als Lager- oder Vorratsteile fabriziert werden. Auf diese Weise werden selbst dort, wo gleiche Maschinen nicht in größerer Anzahl gleichzeitig in Arbeit genommen werden können, doch die Vorbedingungen der Massenfabrikation geschaffen.

In einzelnen Industriezweigen ist die Herstellung von Normalteilen schon alt, wie z. B. im Gas- und Wasserfach, im Bauwesen usw. Im Maschinenbau begann sie erst mit dem jetzigen Jahrhundert, und ihre allgemeine Einführung ist noch weit vom Ziel. Nicht nur, daß die einzelnen Fabriken untereinander bezüglich der Masse ihrer Normalien, wo solche schon vorhanden sind, voneinander abweichen, sondern auch eine internationale Verbreitung ist infolge der verschiedenen Maßsysteme (Metermaß, Zollmaß usw.) und der Gewinde noch unmöglich. Im Gegenteil gibt es Großbetriebe, die in ihren verschiedenen Abteilungen mit verschiedenen Normen arbeiten. Wenn man sich vergegenwärtigt, daß die preußische Eisenbahnverwaltung noch heute ihre Gewinde nach dem Zollsystem vorschreibt, so kann man sich vorstellen, daß in anderen Fällen die Privatindustrie ebenso zurückbleibt, ja, teilweise zurückbleiben muß. Trotzdem bricht sich die Erkenntnis der großen Vorteile immer mehr Bahn, und eine große Reihe von Fabriken hat zu dem Zwecke der Normalisierung ihrer Teile bereits eigene Bureaus eingerichtet. Neben der Billigkeit der Normalteile haben dieselben noch andere Vorzüge, die den Betrieben direkt zugute kommen. Man kann sie entweder selbst auf Lager halten oder von Spezialfabriken vorrätig beziehen und dadurch auf die Vereinfachung der Fabrikation wirken; sie ermöglichen die weitgehendste Ausnutzung der Mittel des Betriebes und erleichtern so ihre Amortisation. Alles in allem bedeuten sie einen Schritt zum wirtschaftlichen Erfolge, und (ich zitiere hier wieder Neuhaus) wer weiß, wie nahe

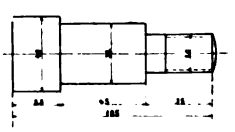


Abbildung 66.

vielleicht schon die Zeiten sind, in denen durch stetige Enttäuschungen über nicht kommenwollende Erfolge konstruktiv so schön gedachter Maßnahmen die deutsche Industrie entscheidende Schritte in dieser Richtung nimmt oder zu unternehmen gezwungen ist. Wer von den Lesern weitergehendes Interesse für diese Materie hat, dem empfehlen wir die oben zitierte Schrift, sowie die im Verlage von Ludw. Loewe erschienene Broschüre „Normalien im Maschinenbau", deren 5. Auflage gegenwärtig im Druck ist.

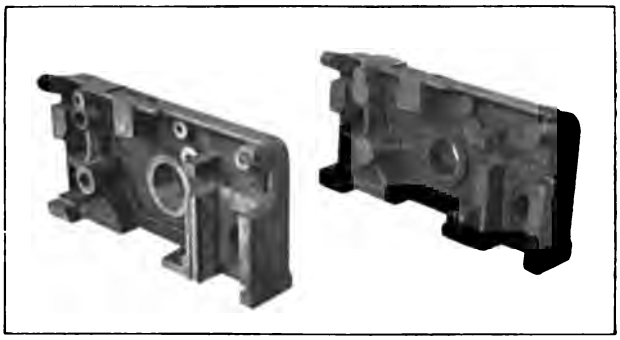


Abbildung 67. Räderplatte. Links unbearbeitet, rechts bearbeitet.

Das erste Erfordernis für die Aufstellung von Normalteilen ist die systematische Dimensionierung gleicher Teile. In Abbildung 64 ist aus der obenerwähnten Broschüre eine Tabelle „Konische Stifte" mit Dimensionen und Numerierung wiedergegeben. Welche Ausdehnung die Normalisierung annehmen kann, erhellt daraus, daß die Tabelle normalisierter Räder derselben Broschüre ca. 560 Nummern aufweist. Das nächste Erfordernis, um den Verbrauch zu sichern, ist ihre Verwendung in der Konstruktion überall da, wo es irgend angängig ist, selbst in dem Falle, daß dem Konstrukteur eine kleine Unbequemlichkeit beim Konstruieren entsteht, oder daß hier und da ein Normalteil verwendet werden muß, dessen Dimensionen etwas größer sind, als es die Rechnung ergibt. In solchen Fällen muß der Vorteil der größeren Billigkeit der Normalien gegen alle einzeln hergestellten Teile, sowie die Vereinfachung der Fabrikation ausschlaggebend sein. Schließlich wird man alle diejenigen Teile, deren Zahl für eine Massenfabrikation im eigenen Betriebe nicht ausreicht, von Spezialfabriken beziehen.

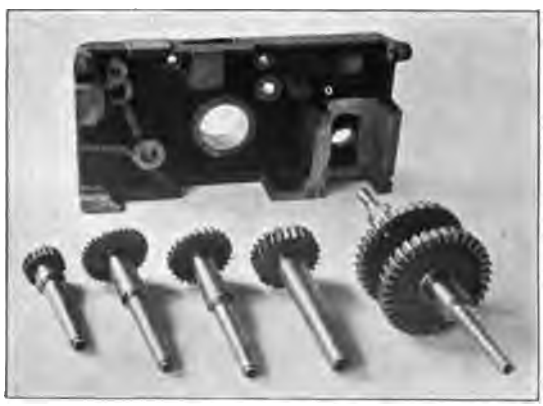


Abbildung 68. Räderplatte mit den Fräswerkzeugen für die Bearbeitung auf der Fräsmaschine.

In Abbildung 65 ist eine Anzahl verschiedener Normalteile zu sehen, von denen jedes einzelne wieder in einer großen Reihe von Maßabstufungen hergestellt wird, ähnlich wie die oben angeführten konischen Stifte.

C. DIE MASSENERZEUGUNG AUF WERKZEUGMASCHINEN. Wenden wir uns jetzt der eigentlichen reinen Massenfabrikation zu, wie wir sie in der Nähmaschinen-, Fahrrad-, Waffen- und Armaturenbranche usw. in ausgeprägtem Maße finden. Der ungeheure, nach Millionen zählende Bedarf dieser Artikel bildet naturgemäß die günstigsten Vorbedingungen für ihre Massenherstellung und hat dazu geführt, daß in den diese Waren herstellenden Fabriken die Arbeitsteilung und Massenfabrikation früh und mit allen Konsequenzen einsetzte. Die natürliche Folge mußte eine Verbilligung der Herstellungspreise und damit auch

der Verkaufspreise sein, die z. B. das Fahrrad in ganz kurzer Zeit vom Luxusgegenstand zum allgemein benutzten Verkehrsmittel umwandelte, dessen Kosten heute so gering sind, daß in Großstädten die Arbeiter den Groschen für die Straßenbahn dadurch zu ersparen suchen. Mit ebensoviel Ausdauer wie Scharfsinn wird oft daran gearbeitet, bei einer Arbeitsoperation den Bruchteil auch nur eines Pfennigs an Arbeitslöhnen zu ersparen, und komplizierte Maschinen und Werkzeuge werden erfunden, deren Kosten manchmal durch die Ersparnisse von Sekunden sich nicht nur bezahlt machen, sondern auch noch weitere Vorteile bringen müssen. In welcher Weise sich die Zeiten für die Herstellung ändern, zeigt folgendes Beispiel: Eine Schraube (Abbildung 66) würde als einzelnes Stück auf der Drehbank ungefähr 30 Minuten dauern; bei Anfertigung von 50 Stück auf der Revolverdrehbank ungefähr 2 1/2 Minuten und in reiner Massenfabrikation auf der automatischen Revolverdrehbank 50 Sekunden (siehe die Abbildungen 33, 34 und 50). Hierbei ist zu berücksichtigen, daß im letzten Falle ein Arbeiter gleichzeitig bis zu 10 Stück dieser Maschinen bedienen kann. Die reinen Arbeitslöhne würden sich also verhalten wie 360 : 30 : 1. Aus dem Beispiel ist gleichzeitig ersichtlich, daß mit der Menge der herzustellenden Teile auch die Mittel, die Maschinen und die Werkzeuge sich ändern können, eventuell sich ändern müssen. Bei wirklicher Massenfabrikation würde sich die Herstellung der Schraube auf der Drehbank und auf der Revolverdrehbank infolge der zu hohen Kosten verbieten, andernfalls würde aber auch die Herstellung von einer oder fünfzig solcher Schrauben auf dem Automaten infolge der zu hohen Einrichtungskosten für die Maschinen unrationell werden, wie die folgende Tabelle zeigt:

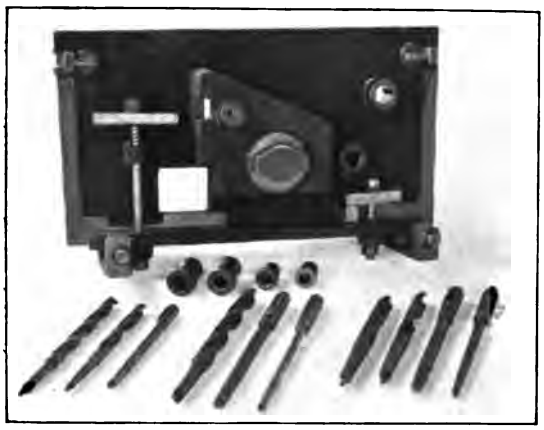


Abbildung 69. Einspannvorrichtung, Werkzeuge und Führungsbuchsen zu Abbildung 68.

Abbildung 70. Einspannvorrichtung und Bohrwerkzeuge zur zweiten Bohroperation der Räderplatte Abbildung 68.

	1 Stück	50 Stück	1000 Stück	10000 Stück
Drehbank	70 Min.	55 Min.	— Min.	— Min.
Revolverdrehbank	— „	190 „	26 „	15 „
Automatische Revolverdrehbank	— „	204 „	8,4	4 „

NB. Die Zeit für das Einrichten der Maschine ist auf die ganze Stückzahl verteilt.

Bei der Bearbeitung der Schrauben auf der Drehbank werden, da nur ein Stahlhalter vorhanden ist, die für das Ausschruppen, Schlichten, Einstechen, Abrunden und Gewindeschneiden nötigen Stähle nacheinander bei jeder Arbeitsoperation ein- bzw. ausgespannt. Das Messen jedes einzelnen Maßes erfordert eine erhebliche Zeit, und die Einstellungen des Supports müssen sämtlich durch den Dreher erfolgen. Der Vorgang wiederholt sich bei jeder folgenden Schraube. Bei der Revolverdrehbank werden die Werkzeuge für sämtliche Operationen gleichzeitig in den Revolverkopf und in den Support eingespannt und arbeiten nach Einschaltung der selbsttätigen Bewegungen durch den Mann, bis die Anschäge diese auslösen. Beim Automaten erfolgen alle Bewegungen vollkommen selbsttätig so, daß die Bedienung der Maschine sich auf das Scharfhalten der Werkzeuge und die Zuführung von Rohmaterial beschränkt.

Abbildung 71. Einspannvorrichtung zur dritten Bohroperation der Räderplatte Abbildung 68.

Im vorliegenden Falle geschieht die Fertigstellung der Schraube jeweils auf einer Maschine. Anderseits hat man in der Massenherstellung Fälle, in denen eine ganze Reihe verschiedener Maschinen zur Herstellung eines Teils benutzt wird. In der Gewehrfabrikation vollzieht sich die Herstellung einer Kammer in 47 Operationen auf 7 verschiedenen Maschinentypen, von denen 3 Maschinen reine Spezialmaschinen sind, die nur für eine ganz bestimmte Arbeit konstruiert wurden.

Zur Fabrikation dieses Teils sind folgende Maschinen nötig: 2 Schmiedemaschinen für 1 Operation, 7 verschiedene Fräsmaschinen für 25 verschiedene Operationen, 3 verschiedene Drehbänke für 7 Drehoperationen, 1 Schleifmaschine für 8 Schleifoperationen, 4 Bohrmaschinen für 4 Operationen und 1 Spezialmaschine für 1 Schabeoperation. Die hierauf folgenden Handoperationen: wie nach Lehre berichtigen, Härten, Putzen, Einpassen, sind in dieser Aufstellung nicht einbegriffen.

Abbildung 72. Einspannvorrichtung zur letzten Bohroperation der Räderplatte Abbildung 68.

Man verwendet in der Massenfabrikation so weit als möglich normale Maschinen und versieht diese mit den für die betreffende Arbeit nötigen Werkzeugen und Spannvorrichtungen. Die letzteren werden entweder auf die Maschine fest aufgeschraubt wie bei Fräsmaschinen, oder sie werden wie bei Bohrmaschinen lose aufgesetzt, wenn die Arbeit es erfordert, daß sie beweglich bleiben. Im allgemeinen kann man behaupten, daß in der Massenfabrikation Einspannvorrichtungen, Werkzeuge und Maschinen um so komplizierter werden, je fortgeschrittener die Fabrikation und je größer die Anzahl der herzustellenden Teile ist, während in der Einzelfabrikation die Herstellung von

Einspannvorrichtungen und teuren Werkzeugen durch die hohen Kosten derselben überhaupt nicht angängig war.

Lange Zeit hat es gedauert, ehe auch die Maschinenfabrikation sich auf die Wege begab, wie sie die Herstellung von Waffen, Nähmaschinen und dergleichen schon seit Jahrzehnten beschritten hatte. Erst der Einführung der Grenzlehren war es vorbehalten, die Wege in der Maschinenindustrie derart zu ebnen, daß die Massenfabrikation möglich wurde. Durch die Möglichkeit der Herstellung austauschbarer Teile durch Grenzlehren wurde das In- und Aneinanderpassen der Teile überflüssig und dadurch die Vorbedingung für die Massenfabrikation erfüllt. Natürlich ist die Massenerzeugung von Maschinen durch das begrenzte Absatzgebiet einesteils, anderenteils durch die große Menge der in denselben verwandten Teile sowie durch die Variationen in den einzelnen Maschinentypen nicht nur erschwert, sondern auch bezüglich der Weite ihrer Ausbildung beschränkt. In den meisten Fällen muß durch Rechnung erst festgestellt werden, ob und wieweit die Einrichtung für eine Massenfabrikation rationell ist. Immerhin hat man dadurch, daß man in fast allen Maschinenfabriken versuchte, eine Spezialisierung herbeizuführen, um dadurch die Verschiedenheiten in der Fabrikation zu verringern, sowie auch durch die Schaffung von Normalteilen die Massenfabrikation zu fördern, nicht unbedeutende Erfolge erzielt.

Abbildung 73. Mikrometerschraube für Durchmesser bis 25 mm.

Wir zeigen in Abbildung 67 die Räderplatte zum Support einer Drehbank und in den Abbildungen 68 bis 72 die dazugehörigen Einspannvorrichtungen und Werkzeuge. Die auf der linken Seite gezeigte Räderplatte stellt dieselbe in unbearbeitetem Zustande dar, während auf der rechten Seite das fertig bearbeitete Stück ist. Die Bearbeitung erfolgt mit einer solchen Genauigkeit, daß die in die Räderplatte einzubauenden Bolzen, Räder und sonstigen Teile ohne irgendwelche Nacharbeit vonstatten gehen soll. In ähnlicher Weise werden die übrigen Teile der Maschine hergestellt, und der Zusammenbau ist nicht mehr wie früher und wie besonders bei der Einzelfabrikation ohne Lehren eine Korrektion der auf den Maschinen gemachten Fehler, sondern mehr ein Zusammenstecken als Zusammenpassen. Die für die Herstellung der Lehren und Werkzeuge aufgewendeten Kosten müssen durch die verminderten Kosten in der Fabrikation natürlich nicht nur gedeckt werden, sondern die Voraussetzung für eine Massenfabrikation ist von vornherein billigeres Fabrizieren. Es müssen also auch außer in der Montage noch Ersparnisse in der maschinellen Herstellung der Teile möglich sein. Diese Ersparnisse werden erzielt durch Vermeidung der sogenannten toten Zeiten für das wiederholte Einrichten der Maschinen, durch schnelleres Auf- und Abspannen der Teile und durch die Möglichkeit, durch vorteilhaft arbeitende Werkzeuge Ersparnisse an Arbeitszeit zu erreichen.

Abbildung 74. Rachenlehre.

Abbildung 75. Kaliberlehre.

D. DIE GRENZLEHREN UND DIE FABRIKATION AUSTAUSCHBARER TEILE.

Die Herstellung der Teile einer Werkzeugmaschine sowie einer Maschine überhaupt geschieht im allgemeinen nach den in den Konstruktionszeichnungen festgelegten Maßen. Das richtige Aneinander- und Ineinanderpassen der einzelnen Konstruktions-

teile ist eins der Haupterfordernisse für das gute Funktionieren einer Maschine. Es müssen also die in den Zeichnungen vorgeschriebenen Maße den verschiedenen Zwecken entsprechend mehr oder weniger genau eingehalten werden. Das Messen, also die Feststellung der vorgeschriebenen Maße, geschieht im Maschinenbau durch eine große Reihe der verschiedensten Meßinstrumente, deren gebräuchlichste und älteste das Meßlineal (Metermaß und Zollstock) und der Zirkel waren. Diese Meßinstrumente werden in der Weise benutzt, daß man mit dem Auge Vergleiche mit dem zu messenden Teile anstellt. Dieses Verfahren ist ein sehr primitives und erlaubt nicht, die für das richtige „Passen" notwendige Genauigkeit, die oft nur 0,01 mm beträgt, richtig abzuschätzen. Einrichtungen wie bei der Mikrometerschraube (Abbildung 73) erfüllen diesen Zweck besser, doch ist ihre Handhabung zeitraubend und von dem Gefühl und der Geschicklichkeit des Arbeiters abhängig.

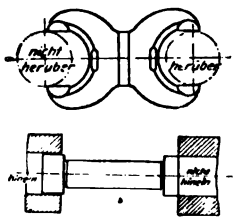


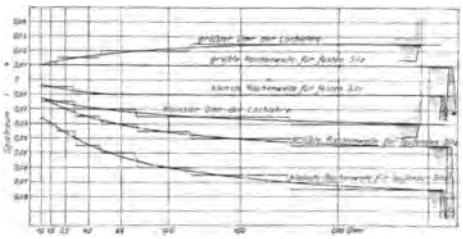
Abbildung 76. Schema für die Benutzung der Grenzlehren.

Bis vor ca. fünfzehn Jahren hatte man im Maschinenbau kein anderes Mittel, als durch Anpassen oder Einpassen, d. h. durch Nacharbeiten die erforderliche Genauigkeit zu erreichen. Für gewisse, öfter wiederkehrende Maße und Formen fertigte man zwar feste Schablonen oder Lehren an, aber diese Meßwerkzeuge waren meist nur für die Längenmaße brauchbar, während für die Durchmesser an Wellen und für die Bohrungen außer dem Taster nichts vorhanden war. Hierzu kommt, daß Welle und Bohrung oft nicht gleichzeitig genau den gleichen Durchmesser haben dürfen. Wenn z. B. eine Welle sich in einem Lager drehen soll, so muß genügend „Luft" für Öl gelassen werden, da beide ohne Schmierung „fressen" würden. Soll dagegen eine Welle mit einem Rade fest verbunden werden, so muß sie entsprechend größer gehalten werden, damit das Rad durch die Reibung auf der Welle festgehalten wird. Daraus ist ersichtlich, daß die Welle in beiden Fällen, obwohl das Maß auf der Zeichnung dasselbe sein kann, im Durchmesser einen Unterschied zeigt. Im ersteren Falle sagt man, die Welle hat laufende Passung (weil sie sich drehen kann), im zweiten nennt man die Passung festsitzend, da sie fest in dem Rade sitzt. Anderseits ist es natürlich nicht angängig oder doch zum mindesten zu kostspielig, die Dimensionen eines Maschinenteils absolut genau herzustellen. Die erlaubten Fehler für die oben angeführten Passungen: feste und laufende Passung, schwanken bei den verschiedenen Durchmessern zwischen 0,01 und 0,10 mm, soweit es sich um den Präzisionsmaschinenbau handelt. Für grobe Arbeiten können die „Grenzen" oder „Toleranzen" größer ausfallen.

In der Massenfabrikation hatte man schon seit längerer Zeit für die verhältnismäßig wenigen Maße, die in Betracht kommen, „Grenz- oder Toleranzlehren" verwendet. Sie im Maschinenbau allgemein anzuwenden, gehörte zu den Aufgaben des 20. Jahrhunderts, und zwar mußten zu diesem Zwecke erst eine Reihe von Vorbedingungen erfüllt werden, deren Erörterung hier zu weit führen würde. Heute wird in den meisten Großbetrieben, und zwar sowohl in der Einzelfabrikation als auch in der Massenfabrikation, nach diesen Grenzlehren gearbeitet.

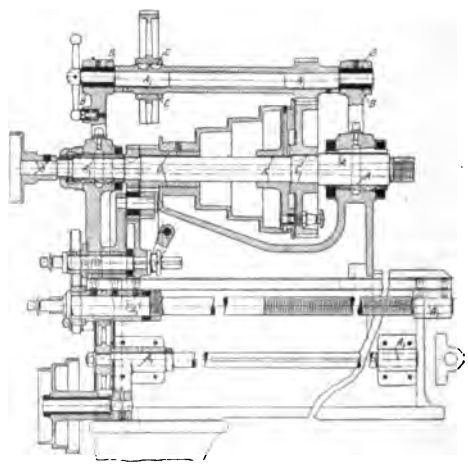
Man unterscheidet zwei Arten von Grenzlehren: Rachenlehren (Abbildung 74) zum Messen von Wellen, Bolzen usw., also für zylindrische Teile, und Kaliber (Abbildung 75) zum Messen von Bohrungen. Das Wesen beider besteht darin, daß der eine Rachen das Maß der untersten Grenze der Abweichung, der andere das der obersten Grenze hat, so daß die erlaubte Toleranz zwischen beiden liegt. Die Kaliber sind in derselben Weise angefertigt. Eine Grenzlehre besteht also in Wirklich-

keit aus zwei Lehren, von denen die eine, die „Gutseite" um ein geringes Maß, die Toleranz, größer oder kleiner ist als die „Ausschußseite". Die Feststellung des richtigen Maßes einer Welle geschieht in der Weise, daß der größere Rachen über die Welle hinübergeht, während der kleinere nicht hinübergehen darf. Beim Loch muß das kleinere Kaliber in das Loch hineingehen, das größere nicht (siehe Abbildung 76). Wenn wir also eine Rachenlehre, deren einer Rachen um 0,02 mm größer ist als der andere, verwenden, um mehrere Wellen zu messen, so muß der eine Rachen über die Welle gehen und der engere darf nicht hinübergehen. Ist dies der Fall, so ist festgestellt, daß ihre Genauigkeit innerhalb bestimmter Grenzen liegt, und daß ihre Maßunterschiede keinesfalls 0,02 mm übersteigen können. Mit anderen Worten, die Teile haben die für die praktischen Erfordernisse genügende Genauigkeit, und sie sind innerhalb gewisser Grenzen gleich, also austauschbar. Hierin liegen die Hauptvorzüge beim Gebrauch von Grenzlehren, und daraus erwachsen der Fabrikation eine Reihe von bedeutenden Vorteilen. Das An- und Einpassen der Teile fällt weg, und dadurch können die Teile nebeneinander, d. h. gleichzeitig, angefertigt werden, während die alte Manier die Anfertigung nacheinander, also Zeitverluste, bedingt. Das Messen kann von Leuten ausgeführt werden, die ungeübt sind, da es außerordentlich leicht ist. Durch diese beiden Vorteile wird die Produktionsfähigkeit des Betriebes gesteigert. Die Nachlieferung von zerbrochenen Teilen kann ohne weiteres geschehen, da die Austauschbarkeit gegeben ist usw.



Abbild. 77. Diagramm für die Toleranzen.

Beim Gebrauch von Grenzlehren wächst die Güte bzw. die Genauigkeit des Produkts, je feiner die Grenzen gewählt werden. Gleichzeitig wachsen aber auch die Anforderungen, die an die Geschicklichkeit des Arbeiters gestellt werden, und damit die Herstellungskosten des Fabrikats. Es ist aus letzterem Grunde wünschenswert, die Grenzen so weit zu wählen, als es die Anforderungen an die Güte der Fabrikate zulassen, z. B. kann da, wo ein Lager 1 mm größer gebohrt ist als die Welle, der Durchmesser unbedenklich um 0,1 mm schwanken. Für hohe Qualität geht man bei kleinen Durchmessern sogar bis 0,005 mm herunter. Die Grenzen müssen immer jedem Betriebe besonders angepaßt sein, und der Transmissionsbau bedarf anderer Toleranzen als der Bau von Präzisions-Werkzeugmaschinen oder von Dampfmaschinen oder landwirtschaftlichen Maschinen.



Abbild. 78. Schema für die verschiedenen „Passungen".

In Abbildung 77 ist eine graphische Darstellung der Unterschiede in den zulässigen Toleranzen für präzise Arbeiten zu sehen. Die Horizontale 0 gibt die nominelle Größe an. Auf jeder Seite der nominellen Größe sind abfallende bzw. ansteigende Kurven vorhanden, die durch ihren jeweiligen Abstand von 0 den Spielraum ergeben, der zur Ölung oder Passung am zweckmäßigsten gehalten wird. Im Präzisionsmaschinenbau hat man außer den vorher erwähnten Passungen „fest"

und „laufend" noch andere Passungen eingeführt, und man arbeitet nach folgenden vier Passungen:

1. Laufende Passung.
2. Schiebende Passung.
3. Feste Passung.
4. Preßpassung.

Laufende und feste Passung haben wir bereits im vorhergehenden erklärt. Schiebende Passung oder Schiebesitz wendet man an, wenn sich die Welle von Hand gerade noch in das gebohrte Loch hineindrücken lassen soll, etwa darum, weil sie häufig daraus entfernt werden muß. Beim Preßsitz werden die Teile zur endgültigen Vereinigung zusammengebracht, und zwar unter Anwendung großer Gewalt, wie Aufpressen mittels Schraubenpresse oder durch hydraulischen Druck. Er wird meist da angewendet, wo große Kräfte zu übertragen sind, oder wo die Reibung zwischen beiden Teilen ohne Verwendung von Keilen groß sein muß.

Abbildung 78 zeigt einen Schnitt durch den Spindelkasten einer Drehbank. Die Teile haben bei den mit A bezeichneten Stellen laufende Passung, B bezeichnet Schiebesitz, C festen Sitz und D Preßsitz.

Die Einführung der Grenzlehren in Deutschland bzw. Europa ist der Firma Ludw. Loewe & Co. A.-G. zu danken. Die wissenschaftliche, durch eine große Reihe von Versuchen begleitete Bearbeitung und Klarlegung der Toleranzlehrenfrage erfolgte durch Dr. G. Schlesinger. Die Resultate seiner Arbeit sind in den Forschungsheften des Vereins deutscher Ingenieure veröffentlicht.

Die Bedeutung des Gebrauchs der Grenzlehren in der Maschinenindustrie ist außerordentlich groß. Ihre Benutzung hat viel zu der Verbesserung der Fabrikate und der Erkenntnis beigetragen, wie man bei richtiger Fabrikationsmethode gute, auswechslungsfähige Teile ebenso billig herstellen kann als bei falscher Arbeitsweise teure und minderwertige.

DER GROSZBETRIEB UND SEINE ORGANISATION

VON E. HUHN

Als unsere Altvorderen noch als Zunft- oder Innungsmeister die Klasse der Arbeitgeber bildeten, waren die Betriebe noch so einfach, daß man auch ohne besondere Organisation, eben durch die Angaben des betreffenden Meisters imstande war, in der Werkstatt das zu tun, was nötig war. Die Betriebe waren so klein, daß der persönliche Verkehr und nicht zum wenigsten das Herkommen und die Gewohnheit den Gang des Betriebes bestimmten. Als später, besonders nach Einführung der Dampfmaschinen, die Betriebe umfangreicher und daher unübersichtlicher wurden, dachte man in vielen Fällen noch lange nicht daran, den Betrieben eine Organisation zu geben, sondern überließ es, nach Art der früheren Handwerker, den Arbeitern und Beamten, ihre Obliegenheiten so zu verrichten, wie sie es seit Gründung des Betriebes gewohnt waren, oder wie sie es von ihren Vormännern gesehen oder übernommen hatten, um so mehr, als selbst die größten Betriebe sich aus ganz kleinen Werkstätten herausgearbeitet hatten und die Bildung großer Fabriken, sozusagen aus einem Guß, damals noch nicht bekannt war. Die Notwendigkeit einer einheitlichen Organisation machte sich aber jetzt wenigstens in den Betrieben bemerkbar, die für den Absatz ihrer Fabrikate sich selbst mit den Verbrauchern in Verbindung setzen und sich einen Kundenkreis schaffen mußten, der hinsichtlich ihrer Zahl oft das Vielfache der sämtlichen Angestellten des Betriebes betrug. Immerhin beschränkte sich auch jetzt noch die Organisation meist auf den kaufmännischen Betrieb, während der Fabrikationsbetrieb nicht nur seine ausgetretenen Bahnen weiterwandelte, sondern sich sogar oft in schroffe Gegensätze zum kaufmännischen stellte und umgekehrt.

Solange Deutschland sich noch nicht zum Industriestaat entwickelt hatte, solange gewisse Verhältnisse die ausländische Konkurrenz abgehalten hatten, uns im eigenen Lande zu bekriegen, hatten auch noch die durch fehlende oder schlechte Organisation verteuerten Fabrikate ihren Absatz gefunden. Als sich aber schließlich Deutschland selbst um die Konkurrenz auf dem Weltmarkt bewarb, da mußte man sich leider oft eingestehen, daß unsere großen Konkurrenten auf dem Weltmarkt ihre Fabrikate billiger herstellten, als es hier möglich war, trotzdem jene unter ungünstigeren Bedingungen bezüglich Lohn- und anderer Verhältnisse zu fabrizieren hatten.

Man suchte und fand einen der Hauptgründe in der mangelhaften oder mangelnden Organisation, und seitdem ist das Wort „Organisation" eines jener Schlagwörter geworden, die neben den Begriffen: Zeitersparnis, Kalkulation, Betriebsunkosten und Normalisierung wie Irrlichter im Industriewalde herumspuken. — Ich unterschied vorhin die Organisation des kaufmännischen und des betriebstechnischen Teiles einer Fabrik, möchte aber nun, näher auf den Kern der Sache eingehend, bemerken, daß beide nicht wohl so weit getrennt sein können, daß sie etwa von verschiedenen Gesichtspunkten Direktiven geben dürfen. Einer der drei Hauptgrundsätze in jeder Organisation muß sein: Alle Maßnahmen eines Unternehmens und alle Wege,

die zu deren Ausführung eingeschlagen werden, müssen sich in einem einzigen Brennpunkte vereinigen, d. h. alles, was geschieht, hat die Prosperität des Unternehmens zum Ziel. So gewiß aber verschiedene Wege nach Rom führen, so gewiß würden verschiedene Wege im organisatorischen Sinne, im kaufmännischen wie im technischen Betriebe, eine Zersplitterung der Kräfte bedeuten, und deshalb ist ein Vorwärtsstreben aller Teile im gleichen Sinne und auf dem kürzesten Wege für jede Betriebsorganisation Grundbedingung. Wird diese Grundbedingung erfüllt, so werden sich die Kräfte summieren, statt sich zu zersplittern.

Das zweite Leitmotiv ist: Klarheit, Übersichtlichkeit und Einfachheit. Hier werden meist die größten Fehler gemacht, und das ist um so verhängnisvoller, als Fehler in diesen beiden Richtungen bei jedem einzelnen das Gefühl der Unsicherheit erwecken, also Selbständigkeit und Verantwortungsgefühl untergraben. Man kann behaupten, daß eine Fabrik, bei deren Organen bis zum untersten Mann hinab ein hohes Gefühl für die Verantwortung, die er mit seiner Arbeit übernimmt, zu finden ist, jeder anderen Fabrik gegenüber im ungeheuren Vorteil wäre. Andernfalls wird Klarheit und Einfachheit den Pferdefuß jedes Betriebes leichter und bequemer aufdecken lassen, nämlich die durch Unfähigkeit oder Nachlässigkeit gemachten Fehler.

Die dritte Bedingung einer guten Organisation ist möglichste Selbständigkeit jedes einzelnen innerhalb seines Schaffenskreises. Dadurch wird nicht nur das so nötige Gefühl der Verantwortlichkeit anerzogen, sondern vor allen Dingen auch die Schaffensfreudigkeit angeregt. Sie ist das beste Mittel, um Leute, die für bessere Stellungen qualifiziert sind, auszusondern und die minderwertigen und indolenten auszumerzen.

1. BAU UND ANLAGE VON FABRIKEN

Obwohl große Fabriken sich meist aus kleinen Anfängen entwickeln, so ist doch die Anlage großer Werke von vornherein heute nichts Seltenes, besonders in den Fällen, wo die Betriebe durch Umbauung mit Wohnhäusern nicht mehr die Möglichkeit einer Ausdehnung haben und zum Zwecke der Vergrößerung ihren Ort wechseln müssen. Beim Neubau einer solchen Fabrik wird nicht nur die ganze Anlage dem gepflegten Fabrikationszweig, sondern auch der vorhandenen oder zu schaffenden Organisation angepaßt sein müssen. Des weiteren wird man von vornherein auf eine etwa notwendig werdende Vergrößerung entweder durch reichlichen Landankauf oder durch Sicherung von Verkaufsrechten benachbarter Grundstücke Rücksicht nehmen. Bei der Auswahl des Platzes ist die billige und bequeme Abfuhr der Rohmaterialien und der Fabrikate zu berücksichtigen und auf die Arbeiterverhältnisse zu achten. In großen Städten ist die Neuanlage in der Nähe von Fabriken der gleichen oder ähnlicher Branchen vorteilhaft, weil derartige Fabrikzentren günstig auf den Zuzug von Arbeitskräften wirken und die Transportmöglichkeiten für die Arbeiter von und zu den Arbeitsplätzen durch Straßenbahnen meist schon vorhanden sind. Im anderen Falle muß oft erst durch Bauen von Arbeiterwohnhäusern, Anlage von Zufahrtsstraßen, Eisenbahnhaltestellen usw. diese Vorbedingung geschaffen werden.

Hinsichtlich des Waren- bzw. Rohmaterialtransportes bezeichnet man eine Anlage, deren eine Seite von der Eisenbahn und eine andere Seite von einem schiffbaren Wasserweg begrenzt wird, als ideal.

Ferner müssen in Betracht gezogen werden die Entfernung, aus der die Rohmaterialien, Kohlen und andere schwerwiegende Stoffe bezogen werden können, das

Vorhandensein natürlicher Kraftquellen und bei Krafterzeugung das Vorhandensein von genügendem und gutem Kesselspeise- und Kondensationswasser. Die Lage der Fabrikgebäude soll so angeordnet sein, daß der Gang der Rohmaterialien und Fabrikate sich immer in der gleichen Richtung vollziehen kann, und für den Transport müssen nicht nur die nötigen Wege, sondern auch die nötigen Einrichtungen vorhanden sein. Die einzelnen Gebäude sollen den Fabrikationszwecken bezüglich Beleuchtung, Transmissionsanlage, Maschinenfundamente usw. entsprechen, und auf Feuersicherheit, Krananlagen, Heizung und Lüftung sowie die hygienischen Erfordernisse ist Rücksicht zu nehmen. Eine Fabrikanlage, die den beschriebenen Anforderungen entspricht, ist in Abbildung 1 ersichtlich.

Abbildung 1. Grundriß einer Fabrikanlage.

Die Lage der einzelnen Gebäude zueinander, deren Bestimmung durch die eingezeichneten Buchstaben erkenntlich ist, ist derart, daß die Roh- und Hilfsmaterialien auf dem eingezeichneten Schienenstrang auf Eisenbahnwagen bequem zur Gießerei, Kraftzentrale und dem Stahllager gebracht werden können. Der Transport der Halb- und Fertigfabrikate geschieht immer in der gleichen Richtung. Während die ganze Anlage eine in sich geschlossene Fabrik bildet, so ist doch durch die Unterbringung der einzelnen Abteilungen in getrennten Gebäuden eine Dezentralisation herbeigeführt, die jede dieser Abteilungen als etwas Selbständiges und Vollständiges erscheinen läßt. Wie später ausgeführt, ist die Organisation und Verwaltung großer Werke durch die Kompliziertheit des Betriebes außerordentlich erschwert, und man sucht deshalb durch die Dezentralisation der verschiedenen Betriebe Klarheit zu schaffen. Man ermöglicht auf diese Weise, daß jede Abteilung wie eine selbständige Fabrik geleitet und verwaltet, und daß die Prosperität jeder Abteilung durch getrennte Buch-

Abbildung 2. Hof mit Eisenbahngeleis und Übergangsbrücken.

führung auf diese hin geprüft werden kann. — Sämtliche Gebäude sind durch Schmalspurgleise, die sich auch im Innern derselben verzweigen, miteinander und, wie aus der Abbildung 2 zu erkennen, auch durch Übergänge in den ersten und zweiten Etagen miteinander verbunden. Sogar die unterkellerten Räume sind durch unterirdische Wege begehbar. Die Höfe sind genügend weit, um den einzelnen Gebäuden genügend Licht zu lassen, und die Fenster so groß angelegt, daß selbst bei trübem Wetter genügend Licht für die schwierigsten Arbeiten vorhanden ist. Auf die Feuersicherheit ist besonders dadurch Bedacht genommen, daß man nicht nur die Gebäude aus Stein und Eisen herstellte, sondern auch alle diejenigen Abteilungen, deren Feuergefährlichkeit besonders groß ist, wie Modelltischlerei und Modellager, Härterei, Schmiede und Glüherei, in getrennten Gebäuden unterbrachte. Die Anbringung der Transmissionen und Deckenvorgelege geschieht an den unter den Decken befindlichen eisernen Trägern derart, daß ihre Befestigung in denkbar kürzester Zeit ausgeführt werden kann, ohne ein einziges Loch zu bohren oder gar die Wände und Decken zu beschädigen.

2. VERWALTUNG

Durch die kolossale Ausdehnung, die unsere Großbetriebe mit der Zeit genommen haben, ist gerade in diesen die Verwaltung meist sehr kompliziert geworden. Wenn man sich die heutigen Hüttenwerke vor Augen führt, die alle zur Ver- und Bearbeitung nötigen Materialien wie Erze und Kohlen in eigenen Bergwerken selbst gewinnen, verhütten, zu Fertigfabrikaten als Walzeisen, Stahl und Blech usw. und schließlich auch in großen Fabriken zu Eisenkonstruktionen oder Maschinen und dergleichen weiterverarbeiten, wie z. B. die Firmen Fried. Krupp, Thyssen und andere, so wird man sich darüber klar sein, daß die Verwaltung derartiger Werke sehr schwierig sein muß. Die gleichen Beispiele finden sich ebenso in der Maschinen- wie in der Elektrizitätsindustrie, nur meist mit dem Unterschiede, daß hier Rohmaterialien von anderen Werken bezogen werden. Bei Werken, die wie Fried. Krupp, Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Maschinenfabriken Augsburg-Nürnberg und andere, zehntausend, ja sogar über hunderttausend Arbeiter beschäftigen, ist die Verwaltung meist dezentralisiert in der Weise, daß man die Werke in selbständige Abteilungen zerlegt und diese getrennt verwaltet. Obwohl auch in diesen Fällen die einzelnen Fäden in einem Punkte zusammenlaufen, in dem die großen Direktiven gegeben werden, so ist doch die Selbständigkeit aller dieser Einzelwerke ziemlich unbeschränkt sowohl hinsichtlich Ein- und Verkauf, als auch Fabrikation und Organisation. Oft sogar, besonders dort, wo räumliche Entfernung oder der Erwerb durch Ankauf bereits bestehender Betriebe eine engere Verbindung und Fühlung nur schwer möglich machen, grundsätzlich voneinander verschieden.

Die leitenden Direktoren ergänzen sich in ihren Arbeiten und Fähigkeiten meist in der Weise, daß der eine die kaufmännischen, der andere die technischen Funktionen übernimmt. Häufig ist ihnen in der Person eines Juristen noch ein Syndikus beigegeben, der die oft schwierigen rechtlichen Fragen, die regelmäßig in allen großen Betrieben auftauchen, klärt. Selten sind alle drei Funktionen in einer Person vereinigt.

Wieweit die Gliederung der Arbeit durch andere Personen weiterhin vorgenommen wird, hängt natürlich von der Größe und Form des Betriebes und des ganzen Apparates ab, aber überall läßt sich zwischen der kaufmännischen und technischen Seite der ganzen Organisation eine ziemlich scharfe Grenze ziehen. Das

darf natürlich nicht dahin verstanden werden, daß beide Seiten gewissermaßen feindliche Lager bilden, wie dies ja wohl hin und wieder vorkommt, sondern die Trennung soll nur den Zweck haben, die Funktionen abzugrenzen, um in getrennter Arbeit dieselben Zwecke und Ziele zu verfolgen. Der eine wie der andere Teil ist für sich allein unnütz und unmöglich. Die eine Hälfte soll die Waren schaffen, die andere soll die Werte feststellen und für ihren Absatz sorgen, beiden aber liegt ob, für die Prosperität des Werkes zu sorgen.

Der kaufmännischen Leitung untersteht naturgemäß die Korrespondenz, die gesamte Buchhaltung, das Rechnungs- und Lohnwesen, Lagerverwaltung, der Verkauf und der Einkauf der Rohmaterialien. Die technische Seite der Verwaltung besteht aus dem technischen und Betriebsbureau, der Kalkulation, dem Betrieb, Laboratorium und Versuchswerkstätten und Lehrlingswesen. Dabei ist zu erwähnen, daß sowohl in der kaufmännischen Verwaltung Ingenieure mit kaufmännischen Kenntnissen als auch im Betrieb Kaufleute verwendet werden müssen. So ist heute zum Verkauf der komplizierten und diffizilen Maschinen ein Techniker infolge seiner Spezialkenntnisse dem Kaufmann oft überlegen. Nicht selten werden sogar die tüchtigsten und gewiegtesten Spezialingenieure für den Verkauf mit besonderem Vorteil verwendet.

3. EIN- UND VERKAUF, BUCHHALTUNG

Der Einkauf des Rohmaterials der Halbfabrikate, wie Roheisen, Stahl usw., und der Hilfsmaterialien, nämlich Öl, Werkzeuge, Putzmaterialien, und endlich der Hilfsmaschinen wird heute meist durch Personen erledigt, die nicht nur eine bedeutende Warenkenntnis, sondern auch die Fähigkeiten besitzen, durch richtige Abschätzung der Marktlage den günstigen Moment für größere Abschlüsse zu finden. Die Vorbereitung, Aufstellung der bei der Lieferung einzuhaltenden Bedingungen, Festlegung der Eigenschaften der Waren, ev. auch die für die Lieferung in Betracht kommenden Firmen, wird zweckmäßig von technischer Seite, wenn möglich im Betrieb selbst auch unter Zuhilfenahme des Laboratoriums geschehen. Der eigentliche kaufmännische Teil: die Einholung der Offerten, die Vorbereitung zur Entscheidung, Überwachung der Liefertermine und die Sorge für die Untersuchung der sach- und vorschriftsmäßigen Lieferung, ist Angelegenheit des „Einkäufers". Die Vernachlässigung einer geregelten Einkaufstätigkeit kann zu großem Schaden führen. Zweckmäßig kann auch der Verkauf von Abfällen durch den Einkäufer erledigt werden.

Wichtiger noch als der Einkauf ist der Verkauf der Fertigfabrikate. Seitdem wir im Zeitalter des Dampfes nicht mehr wie früher mit Entfernungen zu rechnen haben, ist der Austausch der Waren im Weltverkehr ungeheuer angewachsen. Es gibt heute wohl kaum noch Werke, die nicht versuchen, einen Teil ihrer Ware im Auslande abzusetzen, nicht nur um den Absatz überhaupt zu vergrößern, sondern auch um bei Konjunkturschwankungen einen Ausgleich herbeizuführen. Da die Prosperität eines Unternehmens, richtige Fabrikation und Organisation vorausgesetzt, im allgemeinen mit seinem Absatz wächst, so wird dem Verkauf in allen Werken die größte Fürsorge gewidmet.

Man kann die ganze Verkaufstätigkeit in drei Teile zerlegen: die Propaganda, das Offertwesen und die eigentliche Verkaufstätigkeit. Zum ersten Teil gehört die Herstellung von Katalogen und das Inseratenwesen. Das Offertbureau beschäftigt sich mit der Festsetzung der Verkaufspreise für die angefragten Waren und der Ausarbeitung der Offerten. Die eigentliche Verkaufstätigkeit wird durch Vertreter oder

Agenten ausgeführt. Unter Vertreter verstehen wir direkt im Dienste der Firma stehende Verkäufer, die entweder von dem Orte der Niederlassung oder von auswärts angelegten Verkaufsstellen aus die Kundschaft aufsuchen. Agenten sind Verkäufer, die auf eigene Rechnung den Verkauf der Ware betreiben. Jeder Verkäufer hat seinen bestimmt abgegrenzten Bezirk und kann in seiner Tätigkeit durch Spezialingenieure unterstützt werden. Es gibt auch Fabriken, die ihre gesamte Warenerzeugung unter festgelegten Bedingungen an andere Firmen zum Verkauf abtreten. In diesem Falle erübrigt sich für das betreffende Werk natürlich jede Verkaufsorganisation.

In der letzten Zeit haben sich zur Regelung des Verkaufs für Werke mit ähnlichen Fabrikaten Verkaufsgenossenschaften gebildet. Besonders in Amerika, wo viele Fabriken nur eine oder wenige Maschinentypen bauen, hat sich diese Organisation bewährt. Sie haben den Vorteil, daß die Unkosten für die einzelne Fabrik geringer werden, als wenn sie den Verkauf auf eigene Faust durchführen würde. Schließlich seien noch die Syndikate erwähnt, die aber hauptsächlich für die Hersteller von Halbfabrikaten Interesse haben.

Der dritte Hauptteil der kaufmännischen Verwaltung ist die Buchhaltung. Dieser Teil ist die eigentliche Domäne des Kaufmanns. Während in den vorher beschriebenen Verwaltungszweigen Kaufmann und Ingenieur sich ergänzen oder ersetzen, ist dieses Feld dem Kaufmann ungeteilt geblieben. Man trennt sie gewöhnlich in die Geschäftsbuchführung und in die Betriebsbuchführung. Die erstere hat den Zweck, den Vermögensstand der Firma klarzulegen und den Geld- und Warenverkehr mit Lieferanten und Kunden buchhalterisch zu regeln, sowie die Provisionsabrechnungen mit Vertretern und Agenten zu erledigen. Die Betriebsbuchführung hat ihre Aufgabe in der Kostenberechnung der hergestellten Werte und in der Ermittlung der Unkosten. Der Rahmen dieses Buches läßt ein genaueres Eingehen in dieses Thema nicht zu. Wir empfehlen zum genaueren Studium der Materie das Werk: „J. Lilienthal, Fabrikorganisation und Fabrikbuchführung", Verlag von Julius Springer, Berlin.

4. TECHNISCHE BUREAUS UND BETRIEB

Im technischen Bureau beginnt die eigentliche Betriebstätigkeit durch die zeichnerische und konstruktive Arbeit des Ingenieurs. Die Aufgaben, welche zur Erledigung kommen sollen, sind entweder durch die Bestellungen der Kunden oder, falls es sich um Lagerbestellungen handelt, durch die Maßnahmen der Direktion bestimmt. Wir kommen auf diese beiden Formen noch zurück. Das technische Bureau erhält die Bestellungen, ebenso der ausführende Betrieb, in Form von Bestellbüchern. Jeder Auftrag hat seine Nummer, die er bei allen Bestellungen, Lohnzahlungen und Abrechnungen beibehält. Auch die im technischen Bureau hergestellten und zu diesem Zwecke benutzten Zeichnungen haben diese Nummer. Auf die korrekte und fehlerfreie Herstellung der Zeichnungen wird das größte Gewicht gelegt, denn bei teuren Stücken oder großer Anzahl der gleichzeitig hergestellten Teile verursacht jeder Fehler große Verluste an Geld und Zeit. Deshalb stellt man wohl in manchem Bureau einen Ingenieur an, dessen Aufgabe in der genauen Durchsicht der Zeichnungen besteht, um vorhandene Fehler zu korrigieren. Auf Grund der Zeichnungen werden Teilverzeichnisse (Stücklisten) der zur Maschine gehörigen Teile angefertigt und nach diesen die Rohmaterialien und Halbfabrikate bestellt, die Modelle hergestellt, die Löhne kalkuliert und schließlich die für die einzelnen Stücke und die ganze Maschine aufgewendeten Kosten berechnet. Die auf den Zeichnungen fest-

Abbildung 3. Fabrikanlage Abbildung 1 aus der Vogelperspektive.

gelegten Maße, Angaben und Vorschriften werden unbedingt befolgt. Abweichungen werden nur nach vorheriger diesbezüglicher Änderung der Zeichnung gestattet.

Früher gab man die Zeichnungen im Original in die Werkstatt. Heute fertigt man Kopien auf lichtdurchlässigem Papier und stellt nach diesen auf einfache und billige Weise auf lichtempfindlichem Papier eine beliebige Anzahl „Lichtpausen" her. Die Originalzeichnungen werden gewöhnlich an feuersicheren Orten aufbewahrt.

In großen Werken, wie in dem in Abbildung 3 skizzierten, zerlegt man den Betrieb gewöhnlich in Haupt- und Nebenbetriebe. Die Nebenbetriebe dienen zur Vorbereitung der Fabrikationsmaterialien und sind folgende: Modelltischlerei, Gießerei, Abstecherei und Schmiede. In den Hauptbetrieben erfolgt die Bearbeitung zum Fertigfabrikat. Die einzelnen Betriebe unterstehen den Betriebsingenieuren, denen die Meister untergeordnet sind. Die den Meistern unterstellten Arbeiter arbeiten entweder für sich allein oder in Kolonnen. Letzteres findet fast allgemein in der Montagewerkstatt und im Maschinenbetrieb überall da statt, wo zur Handhabung der Arbeitsstücke oder Maschinen mehrere Leute erforderlich oder nützlich sind.

Vom Betriebsleiter wird eine genaue Kenntnis der Fabrikation und der Leistungsfähigkeit der Werkstätten vorausgesetzt. Er sorgt durch das „Betriebsbureau" für die richtige Ausführung der Bestellungen, für vorteilhafte Fabrikation, für die Instandhaltung der gesamten Fabrikationseinrichtung und für die rechtzeitige Fertigstellung der Fabrikate. Er bestimmt den Zeitpunkt, wann die verschiedenen Arbeiten begonnen oder erledigt werden sollen. Die Meister haben für die richtige Verteilung der Arbeit an die ausführenden Arbeiter und Maschinen Sorge zu tragen, sie überwachen die sachgemäße Ausführung der Fabrikate und werden hierin durch die „Revisoren" unterstützt, die an Hand der Zeichnungen die Stücke mit Bezug auf genaue und gute Herstellung prüfen. Um bei Maschinen und Werkzeugen eine gute Ausnutzung herbeizuführen, überwacht man durch eigens angestellte Leute die Ge-

schwindigkeit und den guten Zustand der Maschinen und Werkzeuge. Für die Prüfung der fertiggestellten Maschinen oder Apparate werden Probierstände eingerichtet, um nach Absendung der Fabrikate Reklamationen des Bestellers zu vermeiden.

5. LOHNSYSTEME, KALKULATION, ABRECHNUNG

Die Entlohnung der Arbeiter ist von jeher ein Gegenstand vielen Streites gewesen. Gegenwärtig erfolgt in allen Kulturländern die Entlohnung in barem Gelde, und es besteht kaum noch ein Zweifel darüber, daß dies die einzig richtige Art ist. Dagegen ist in der Bestimmung der Lohnhöhe bzw. des Arbeitswertes gerade seit den letzten fünfzehn Jahren eine so große, grundsätzliche Verschiedenheit vorhanden, daß es schwer ist, die eine oder die andere Form als maßgebend oder überwiegend zu bezeichnen. In vielen Betrieben, besonders in solchen, wo sich die Arbeiten infolge ihrer Eigenart schwer abschätzen lassen oder wo keine oder gering entwickelte Kalkulation vorhanden ist, wird dem Arbeiter der sogenannte Zeitlohn gezahlt. Dieser besteht in einer bestimmten Geldleistung für die Arbeit in einer bestimmten Zeit: also Stundenlohn oder Wochenlohn. Die zweite, heute wohl am meisten benutzte Form ist die, daß dem Arbeiter für eine bestimmte Arbeit ein bestimmter Lohn gewährt wird, unabhängig von der Zeit, die er für Erledigung der Arbeit verwendet. Man bezeichnet diese Art mit Stücklohn oder Akkordlohn. Eine dritte, ebenfalls viel angewendete Form der Entlohnung besteht in dem „Prämiensystem", das im Grunde eine Vereinigung beider ist. Dem Arbeiter wird ein fester Lohnsatz pro Stunde zugesichert unter der Voraussetzung, daß eine Arbeit in einer angenommenen Zeit erledigt wird. Führt er die Arbeit schneller aus, so erhält er für die ersparte Zeit eine Geldprämie. Das Prämiensystem wird in zahlreichen Variationen angewendet und ist hauptsächlich in Amerika im Gebrauch. Die Bezahlung in Zeitlohn erfordert in seiner Durchführung am wenigsten Arbeit, hat aber den Nachteil, daß eine Vorausbestimmung der Selbstkosten der Fabrikate sehr unsicher ist. Beim Stücklohn ist eine genaue Vorherbestimmung des Wertes der Arbeit erforderlich, desgleichen beim Prämiensystem. Beim letzteren vermehrt noch die in der Werkstatt nötige Kontrolle und die komplizierte Abrechnung die Arbeit, und es wird durch die Unsicherheit bei den Angaben von seiten der Arbeiter in seiner Durchführung sehr erschwert.

Die Vorausbestimmung der Akkordlöhne durch „Kalkulation" geschieht heute noch in manchen Betrieben durch den Meister. Allein diese Art ist veraltet und kann infolge der Arbeitsüberbürdung der Meister fast nie in gerechter Weise durchgeführt werden. Deshalb hat man in modernen Fabriken für die Akkordbestimmung Kalkulationsbureaus eingerichtet.

Der Kalkulator muß nicht nur die genaue Kenntnis besitzen, in welcher Art und Weise eine Arbeit zu verrichten ist, sondern auch die im Betriebe vorhandenen Hilfsmittel, Werkzeuge und Einrichtungen genau kennen. Die Feststellung des Stücklohnes geschieht in der Weise, daß die Arbeit in ihre einzelnen Bestandteile zerlegt und unter Zugrundelegung der für die verschiedenen Materialien vorteilhaften Geschwindigkeiten die erforderliche Zeit errechnet wird. Ferner werden die für die notwendigen Wege, für das Einstellen der Maschine, Ein- und Auspannen der Werkzeuge nötigen Zeiten zugeschlagen und die gefundene Zeit unter Zugrundelegung des üblichen durchschnittlichen Stundenverdienstes in Geld umgerechnet. Dabei muß berücksichtigt werden, daß eine Arbeit auf verschiedenartigen Maschinen ausgeführt werden kann, und daß die Unkostenzuschläge für verschiedene Maschinen oder Werkstatteile

variieren können. Der Kalkulator muß also diejenige Maschine ausfindig machen, auf der die Löhne und Zuschläge die billigsten Selbstkosten ergeben.

Die wirklich gezahlten Löhne werden von der Lohnbuchleitung zusammengestellt, Unkosten und Materialwert zugeschlagen und die so gefundenen Selbstkosten der Fabrikate zur Preisbestimmung für den Verkauf benutzt.

6. UNKOSTENFESTSTELLUNG UND STATISTIK

In jedem Betriebe entstehen außer den direkten Kosten eines Fabrikates durch Löhne und Material eine große Menge von Ausgaben, die keine direkten Produktionskosten sind, da durch sie keine Werte hergestellt werden. Diese Ausgaben bezeichnet man mit dem gemeinsamen Namen Unkosten und unterscheidet zwischen solchen, die durch den Betrieb verursacht werden (Betriebsunkosten), und solchen, die durch den Verkauf entstehen (Handlungsunkosten). Die Betriebsunkosten entstehen durch Zahlung der Gehälter für Beamte, durch Aufwendung für Kraft, Licht, Heizung, Hilfsmaterialen, Amortisation der Gebäude, Maschinen, Werkzeuge und Inventar. Sie werden in der Regel bei der Selbstkostenberechnung in der Weise eingerechnet, daß man sie als Aufschlag auf die produktiven Löhne oder auf den Materialpreis prozentual verrechnet. Hat z. B. eine Fabrik im Jahre bei 1000000 Mark produktiver Löhne 750000 Mark Betriebsunkosten, so schlägt man bei der Feststellung der Selbstkosten zum Materialpreis und den Löhnen noch 75% der Betriebsunkosten.

Die Handlungsunkosten setzen sich aus den Kosten der kaufmännischen Verwaltung und der Direktion zusammen. Ferner rechnet man dazu Reklame, Kataloge, Porti, Steuern und dergleichen. Sie werden in der Regel prozentual auf die Selbstkosten der Fabrikate verrechnet und zu diesen hinzugerechnet, so daß Selbstkosten und Handlungsunkosten und Verdienst den Verkaufspreis ergeben.

Die Feststellung der Unkosten geschieht im Wege der Buchhaltung, und ihre einzelnen Zahlen werden in gut geleiteten Fabriken als statistisches Material verarbeitet. Da die Unkostensumme in vielen Werken die Höhe der gezahlten Löhne bedeutend übersteigt, so ist die genaue Überwachung der Unkosten von höchster Wichtigkeit, und hierfür ist eine gute Statistik das beste Mittel. Sie wird aber außer zu diesem Zwecke noch vielen anderen dienstbar gemacht. So z. B. dem Materialeinkauf. Auch die Produktionsfähigkeit, Fabrikkosten, Absatzmöglichkeiten, Arbeitsverdienste, Arbeiterverhältnisse und viele andere Gegenstände werden dadurch kritisch beleuchtet und ungesunde, Abhilfe erheischende Fehler aufgedeckt.

7. TRANSPORTMITTEL, FABRIKATIONSEINRICHTUNG, LÄGER

Schon das äußere Aussehen von Werken verschiedener Fabrikationsrichtungen läßt erkennen, daß auch deren Einrichtungen und Transportmittel vollkommen verschieden sind. In den Werken, die Rohmaterialien in großen Quantitäten erzeugen, bildet der Transport eine der Hauptaufgaben des Betriebes. So z. B. in Hüttenwerken. Alle erdenklichen Krankonstruktionen, Elevatoren, Seilbahnen, von Maschinen oder Pferden bzw. Menschen bewegte, auf Schienen gestellte Wagen, Greiferelevatoren, Paternosterwerke werden zur Beförderung verwendet. Überall sieht man schlanke Eisengerüste, die dem ganzen Bilde den Charakter verleihen. Die auf S. 132—147 des ersten Bandes gezeigten Abbildungen veranschaulichen in treffender Weise, welche Aufmerksamkeit dem Transport der Güter gewidmet wird.

Obwohl nicht so ausgeprägt wie dort, wird auch in denjenigen Werken, die den erzeugten Stahl zu Maschinen weiterverarbeiteten, dem Transport die nötige Aufmerksamkeit geschenkt. Man muß sich immerhin klarmachen, daß nicht nur die schweren Stücke, sondern auch die kleinen und leichten ihren Fabrikationsgang über alle möglichen Maschinen nehmen, und daß 30 bis 40 Operationen an manchem Stück ausgeführt werden müssen, ehe es zum Einbau in die Montage gelangt.

Abbildung 4. Elektrisch betriebener Handkran.

Das in Abbildung 1 gezeigte Bild einer Maschinenfabrik läßt neben den Eisenbahnanschlüssen ein ganzes Netz von Schmalspurgleisen zum Transport der Halbfabrikate erkennen, die nicht nur die Verbindung unter den einzelnen Gebäuden herstellen, sondern auch den Transport innerhalb derselben ermöglichen. Laufkräne mit Geschwindigkeiten von 150 m in der Minute heben die Stücke auf die Maschinen und nehmen sie wieder herunter. Elektrisch betriebene Handkräne (Abbildung 4), Laufkatzen, mittels Druckluft betriebene Hebezeuge (Abbildung 5) dienen gleichen und ähnlichen Zwecken. Die Beförderung der Teile aus einer Etage in die andere besorgen Fahrstühle, die mit den Schmalspurgleisen in Verbindung stehen, und in der Massenfabrikation dienen speziell für bestimmte Teile eingerichtete Transportgeräte dem gleichen Zweck (Abbildung 6).

Abb. 5. Schienenstrang in der Werkstatt und Lufthebezeug.

Noch mehr als die Transportvorrichtungen ist die Fabrikationseinrichtung dem besonderen Fabrikationszweig angepaßt. Die Werkzeug-

Abbildung 6. Spezialwagen, der die Beschädigung der Teile beim Transport verhindert.

maschinen, Werkzeuge und Einspannvorrichtungen sind durch die Fabrikation direkt bestimmt. Maschinen derselben Gattung sind in gleichen Räumen untergebracht, so daß man von einer Dreherei, Hobelei, Fräserei usw. spricht. Große Maschinen zum Bearbeiten schwerer Stücke stehen direkt unter den Kränen. Die Gesamtanordnung der Maschinen geschieht unter dem Gesichtspunkte, daß die Teile möglichst in einer Richtung durch die Werkstätten wandern, um Hin- und Hertransport zu vermeiden.

Die Aufbewahrung der Werkzeuge und Einspannvorrichtungen geschieht in Lagern (Abbildung 7), die den Werkstätten, die sie versorgen sollen, eingeordnet sind und nur immer die für die betreffende Abteilung benutzten Werkzeuge enthalten. Die Entnahme dieser Werkzeuge durch die Arbeiter geschieht gegen Hinterlegung von Werkzeugmarken. Zur Instandhaltung der Werkzeuge sind Leute und Maschinen vorhanden, deren Aufgabe es ist, die stumpf gewordenen Werkzeuge in scharfem Zustande an die Werkzeuglager zu liefern.

Diejenigen Teile, deren maschinelle Bearbeitung unterbrochen werden muß oder bereits fertiggestellt ist, werden ebenfalls in Lagern (Lager fertiger und halbfertiger Teile) untergebracht und von dort zum Zusammenbau nach der Montage übergeführt.

8. DISPOSITION, LIEFERTERMINE

Für die Zuführung des Rohmaterials in die Betriebe ist die Leistungsfähigkeit derselben der Maßstab. Ein periodisches Zuviel oder Zuwenig an Materialzugang schädigt den Gang der Fabrikation und bringt Unsicherheit in das Personal. Anderseits muß die Anlieferung des Materials so früh geschehen, daß genügende Zeit für die Einhaltung der mit den Kunden vereinbarten Liefertermine vorhanden ist.

Die Festsetzung von Lieferterminen beim Abschluß von Verkäufen und die Einhaltung dieser Termine erfordert vom leitenden Betriebsmann nicht nur eine genaue Kenntnis der Leistungsfähigkeit des Betriebes, sondern auch Fähigkeit im Disponieren. Am leichtesten ist eine gute

Abbildung 7. Werkzeuglager (siehe auch Abbildung 5).

Disposition in den Betrieben mit reiner Massenfabrikation, wie Nähmaschinen-, Waffen-, Fahrrad-, Schreibmaschinen- und ähnlichen Fabriken. Sehr schwierig wird sie, wo die Aufträge nur von Zufälligkeiten abhängen und kurze Liefertermine Hauptbedingung sind, wie z. B. die Reparatur von Schiffen usw. Die Einhaltung der Liefertermine ist eine der schwierigsten Aufgaben des Betriebsingenieurs, die eine große Umsicht, Dispositionstalent und das Zusammenhalten sämtlicher Fäden der Fabrikation voraussetzt. Nehmen wir einen gleichmäßigen, durch keine Verschiebungen, Konstruktionsänderungen, Fabrikationsfehler und Ausschuß gestörten Werkstattbetrieb an, so stellt sich das Bild für den Werdegang des Fabrikats folgendermaßen dar:

Anfrage des Kunden;
Ausarbeitung der Offerte und Festsetzung des Liefertermins und des Preises;
ev. Konstruktion der Maschine;
Bestellung des Rohmaterials;
Vorbereitung des Rohmaterials;
Bearbeitung des Rohmaterials in den mechanischen Werkstätten;
Montage;
Revision und Ausprobieren.

Ich übergehe die rein kaufmännischen Angelegenheiten und wende mich sofort zur Festsetzung des Liefertermins. Der Betriebsleiter hat auf Grund der fortlaufend geführten Lieferlisten, die nach Monat und Datum geordnet sind, sich einen Überblick zu machen, für welchen Termin bzw. für welches Datum noch neue Lieferungen versprochen werden können. Angenommen, die Summe der zu liefernden Fabrikate beträgt für den Monat Januar 150000 kg und die Leistungsfähigkeit der Fabrik ist 200000 kg, so kann selbstverständlich für diesen Monat noch 50000 kg an Aufträgen hereingenommen werden, vorausgesetzt, daß die Zeit für die Fertigstellung bis dahin genügt. Natürlich kann für die Beurteilung der Leistung statt des Gewichts auch der Wert oder zur besseren Kontrolle auch beides eingesetzt werden.

Beansprucht die Herstellung des Fabrikats einen Zeitraum von vier Monaten, so müßte das Rohmaterial demnach im September in die Werkstätten gegeben werden, und es ist weiter zu prüfen, ob die Summe des für diesen Monat schon vorgesehenen Rohmaterials den neuen Zugang noch verträgt. Es ist ein großer Fehler, wenn man mehr Rohmaterial in die Werkstätten gibt, als die Maschinen verarbeiten können, und die unausbleibliche Folge ist, daß in der Montage die vorgearbeiteten Teile nicht rechtzeitig eintreffen, denn Meister und Arbeiter greifen nur zu gern zu den Arbeiten, die ihnen bequem bzw. vorteilhaft erscheinen. Ferner ist die Zeit für die Herstellung der Zeichnungen und die Beschaffung des Rohmaterials bei der Festsetzung der Liefertermine in Rechnung zu stellen.

Nachdem das Rohmaterial von der Abstecherei, Schmiede und Gießerei geliefert ist, wird es möglichst komplett in die Werkstätten zur weiteren Verarbeitung gegeben. Bedingung für eine geordnete Fabrikation ist, daß die mechanische Bearbeitung der Teile erledigt ist, d. h. daß die Teile sämtlich fertig vorgearbeitet sind, wenn die Montage beginnt. Es wäre unmöglich, die vielen Hunderte von Teilen, die oft zu einer Maschine gehören, rechtzeitig fertigzustellen, wenn für die Betriebsbeamten nicht in den Sammlerlisten ein Hilfsmittel zur Verfügung stände. Diese Listen sind so eingerichtet, daß man aus ihnen nicht nur den Gang der Fabrikation der einzelnen Teile, sondern auch den Ort herausfinden kann, an dem sie sich im Augenblick befinden. Die fertigen Stücke werden vertikal durchstrichen, und es zeigen die undurchstrichenen Teile somit die noch unvollständige Bearbeitung derselben an.

Natürlich muß für die rechtzeitige Bearbeitung der Teile einer Maschine eine Zeitdisposition vorhanden sein, deren Form außerordentlich verschieden sein kann und die nach der Art der Fabrikate variieren wird. Ein Schema, das für fast alle Fabrikationsarten brauchbar ist, zeigt Abbildung 8.

Wir nehmen die Herstellung von zwanzig Fräsmaschinen an. Das Schema zeigt, daß die Zeichnungen, da es normale Maschinen sind, vorhanden sind, die Modelle desgleichen. Für die Lieferzeit des Rohmaterials nehmen wir als Grundlage das schwerste Stück, den Ständer der Maschine, an. Wenn die Gießerei pro Woche vier solcher Ständer zu liefern imstande ist, so könnte das gesamte Rohmaterial, die Zeit für Putzen, Formkasten verbauen usw. mit eingerechnet, frühestens in sechs Wochen vorhanden sein. Man könnte zwar die Teile, bevor sie komplett sind, zu bearbeiten anfangen, verliert aber dadurch den Vorteil der Serienfabrikation, nämlich das operationsweise Arbeiten, wodurch ein mehrmaliges Umbauen und Einrichten der Maschinen vermieden wird. Auch den Montageanfang machen wir von dem Ständer abhängig, da seine Bearbeitung von allen Teilen die längste Zeit in Anspruch nimmt. Diese Zeit läßt sich aus den gezahlten Löhnen leicht ermitteln, und wir nehmen dafür drei Monate an. Die Disposition für die übrigen Teile erfolgt in gleicher Weise, und wir finden, daß die Montage frühestens achtzehn Wochen nach der Materialbestellung beginnen kann. Hat man für die Montage eine Kolonne von fünf Mann zur Verfügung, deren Gesamtverdienst pro Tag 40 Mark beträgt, so wird der 3000 Mark betragende Montage-Akkord fünfundsiebzig Tage, also rund dreizehn Wochen ausreichen. Die Maschinen könnten also höchstens in 18 + 13 = 31 Wochen fertiggestellt werden. Rechnet man für Revision, Fertigstreichen usw. noch eine Woche, so ist der Liefertermin für die erste Maschine zweiunddreißig Wochen nach Bestellung des Materials. Es muß aber in Betracht gezogen werden, daß nicht stets für die betreffende Operation die richtige Maschine dann frei ist, wenn die vorhergehende Operation erledigt wurde, und daß in jeder Fabrikation mit Zwischenfällen, Ausschuß und dergl. zu rechnen ist.

Selbsttätige Fräsmaschine 12 Mod. III.

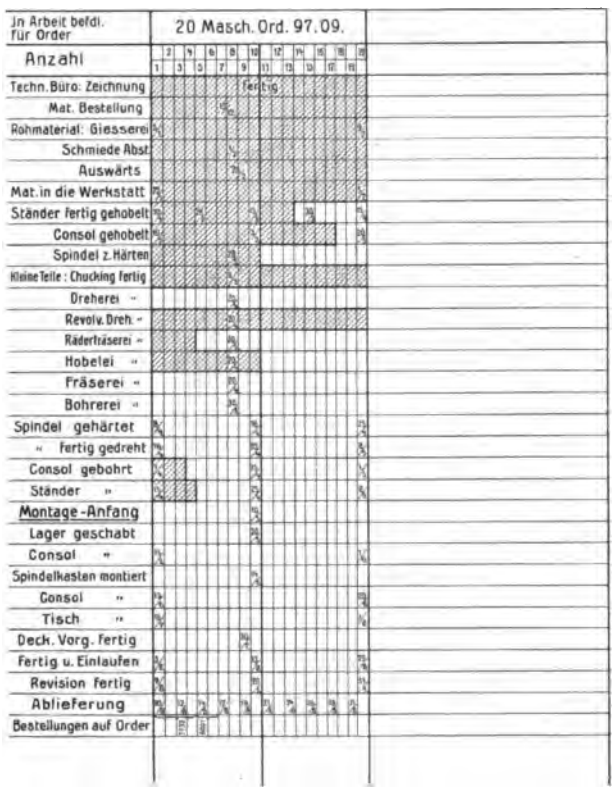


Abbildung 8. Dispositionsschema für die Herstellung einer Serie Maschinen.

9. LABORATORIUM

Von den richtig gewählten, ihren Zwecken entsprechenden Roh- und Hilfsmaterialien hängt in nicht geringem Maße die Güte des Fertigfabrikats ab. Die Gewährung von Preisen, die der Güte der Waren entsprechen, und die Auswahl reeller Lieferanten gewährleistet

in vielen Fällen die Einhaltung der Qualitätsvorschriften. Oft, besonders bei Rohmaterialien und bei solchen Waren, die durch die Marktlage in ihrer Preisbestimmung abhängig sind, ist es nötig, das Vorhandensein vorgeschriebener Bedingungen durch

Abbildung 9. Chemisches Laboratorium zur Untersuchung von Metallen.

Untersuchungen bei der Ablieferung festzustellen. Ebensooft müssen die zur Bestimmung der Qualität nötigen Vorschriften erst durch langwierige Versuche und Untersuchungen festgestellt werden. Endlich muß wie in den Stahl- und Hüttenwerken eine Untersuchung der Fabrikate zur Feststellung der Zusammensetzung zum Zwecke des Verkaufs vorgenommen werden.

Man unterhält zu diesem Behufe in großen Werken Laboratorien, deren Aufgabe es ist, die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Materialien festzustellen. Man unterscheidet chemische (Abbildung 9) und physikalische Laboratorien. In den ersteren werden Stahl, Roheisen, Öl, Fette, Kohle, Koks usw. auf ihre chemischen Bestandteile untersucht. In letzteren wird die Festigkeit, Zähigkeit und das Biegevermögen bestimmt und das Kleingefüge der Metalle untersucht. — Soll z. B. eine Stahlsorte untersucht werden, so wird zunächst ihre chemische Zusammensetzung ermittelt, d. h. es werden die Gehalte an Kohlenstoff, Mangan, Silizium, Schwefel, Phosphor und bei legierten Stählen an Nickel, Chrom, Molybdän usw. ermittelt. Die prozentuale Zusammensetzung bestimmt gewisse Eigenschaften des Stahls bis zu einer gewissen Grenze. Sie genügt aber nicht immer, besonders nicht bei hochwertigen oder legierten Stählen. Deshalb wird auf einer Zerreißmaschine ein Probestab (Abbildung 10) zerrissen, um die Festigkeit und Dehnung zu bestimmen, oder es wird auf dem Schlagwerk eine Biegeprobe gemacht. Oft genügen auch diese Versuche noch nicht, da die richtige Verlagerung der chemischen Bestandteile schließlich be-

Abbildung 10. Auf der Zerreißmaschine zerrissener Probestab aus Stahl.

stimmend ist für eine ganze Reihe wesentlicher Eigenschaften. Darum kann man den Stahl auch noch mikroskopisch untersuchen. Abbildungen 11 und 12 zeigen das mikroskopische Kleingefüge eines 3½prozentigen Nickelstahls, und zwar ist das linke Bild ein Stahl mit gutem, das rechte mit schlechtem Gefüge. Schließlich kann durch Ausführung der Kerbschlagprobe die Biegefähigkeit vermittelt werden (Abbildung 13).

Abbildung 11. Nickelstahl mit gleichmäßig verteiltem Nickel.

Abbildung 12. Nickelstahl mit Nickelanhäufungen.

Durch diese Untersuchungen kann man sich nicht nur vor Übervorteilungen seitens der Lieferanten schützen, sondern auch den Kunden Maschinen liefern, deren einzelne Teile allen Anforderungen an Festigkeit und Haltbarkeit entsprechen.

10. LEHRLINGSWESEN

Die heutige Produktionsweise in den Großbetrieben ist grundsätzlich verschieden gegen diejenige zur Zeit der Kleinbetriebe und Handwerker. Während im Handwerk, wie schon der Name andeutet, die Handfertigkeit der Gegenstand der Ausbildung war, ist heute in den Fabriken, besonders in Maschinenfabriken, die Maschinenarbeit an Stelle der Handarbeit getreten. Heute sind dem Handwerker nur noch diejenigen Waren zur Herstellung übriggeblieben, bei denen die Maschine kaum nötig ist, und deshalb ist ein im Handwerk ausgebildeter Lehrling für maschinelle Betriebe nicht ohne weiteres brauchbar. Dazu kommt die Spezialisierung der angelernten Maschinenarbeiter in der Massenfabrikation. Diese Spezialisten sind immer nur an einer bestimmten Maschine, vielleicht gar für eine besondere Art von Arbeit brauchbar. Aus allen diesen Gründen ist die Klage der Industrie, daß die Qualität der „gelernten" Maschinenbauer immer mehr zurückgeht, verständlich, um so mehr, als die Großbetriebe sich von der Lehrlingsausbildung lange Zeit grundsätzlich fernhielten. In den letzten zehn bis fünfzehn Jahren hat sich die Großindustrie aber an ihre Pflichten

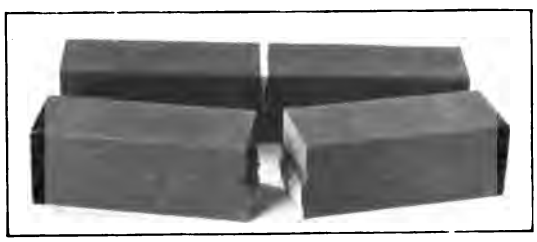


Abbildung 13. Kerbschlagproben vor und nach dem Bruch.

gegen sich selbst erinnert und hat die Ausbildung der Lehrlinge für ihre Zwecke selbst in die Hand genommen. Eine Reihe erster Betriebe ist in geradezu mustergültiger Weise und teilweise unter Aufwendung nicht unbedeutender Kosten an diese Aufgabe herangetreten.

Zur besseren Beleuchtung der befolgten Grundsätze folgen wir dem Plan einer bekannten Werkzeugmaschinenfabrik, deren Lehrlingsausbildung als vorzüglich und mustergültig gehalten wird.

Abbildung 14. Werkstatt für Lehrlinge im ersten halben Jahre ihrer Lehrzeit.

Die Aufnahme der Lehrlinge geschieht am 1. April und 1. Oktober. Die Gesamtzahl bei etwa 2400 Arbeitern beträgt 160. Voraussetzung für die Aufnahme ist der erfolgreiche Besuch der 1. Klasse einer Gemeindeschule oder einer entsprechenden Klasse einer höheren Lehranstalt und körperliche Gesundheit.

Die Ausbildung zerfällt in die praktische in der Werkstatt und die theoretische in der Werkfortbildungsschule. Es sei hier bemerkt, daß eine Reihe großer Werke die Nachteile, die in den Pflichtfortbildungsschulen liegen, dadurch umgehen, daß sie für ihre Lehrlinge eigene Fortbildungsschulen eingerichtet haben, die die ersteren ersetzen. Hierzu ist aber die Genehmigung der betreffenden Behörden nötig, die einen Lehrplan vorschreiben, der mindestens gleichwertig ist mit dem der Pflichtfortbildungsschulen.

Es werden vier Gruppen von Lehrlingen ausgebildet: 1. Maschinenbauer, 2. Werkzeugschlosser, 3. Modelltischler, 4. Former. Die Lehrzeit dauert allgemein vier Jahre inkl. einer Probezeit von drei Monaten für die ersten drei Berufe und einem Monat für die Formerlehrlinge. Die als Maschinenbauer aufgenommenen Lehrlinge werden nach Ablauf eines Jahres nach ihrer Wahl und vorbehaltlich der Zustimmung der Firma entweder zu Drehern oder zu Schlossern weiter ausgebildet. Im ersten halben Jahre werden die Lehrlinge der ersten beiden Gruppen in einer besonderen Werkstatt unter einem Lehrlingsmeister beschäftigt. In dieser Werkstatt sind außer den mit Schraubstöcken versehenen Feilbänken die wichtigsten Werkzeugmaschinen aufgestellt (Abbildung 14). Die Arbeit der Lehrlinge ist vom ersten Tag an produktiv. Der Lehrlingsmeister hat das Recht, die für seine Lehrlinge passenden Arbeitsstücke auszuwählen. Alle Lehrlinge arbeiten nacheinander am Schraubstock und an sämtlichen in der Lehrwerkstatt befindlichen Maschinen, an letzteren in der Regel je zwei Wochen. Der Grund für diese Maßnahmen ist ein dreifacher. Erstens werden die Lehrlinge mit den allgemeinen Werkstattverhältnissen und mit den Maschinentypen, an denen sie später weiter ausgebildet werden, vertraut. Ferner kann ihnen zur Ver-

meidung von Körperverletzungen die in der Benutzung der Maschinen liegende Gefahr besser vor Augen geführt werden, und endlich soll dieser häufige Wechsel in der Arbeit während des ersten halben Jahres verhüten, ihnen die Arbeit langweilig werden zu lassen, denn die jungen vierzehnjährigen Leute haben den Ernst der Arbeit meist noch nicht genügend kennen gelernt.

Die weitere Ausbildung der Schlosserlehrlinge erfolgt in den Abteilungen: Schlosserei, Dreherei, Hobelei, Fräserei, Schmiede, Härterei, Schleiferei und Montage.

Die Dreher werden weiter in der Schlosserei, Schmiede und Härterei, Schleiferei und Dreherei ausgebildet.

Die Werkzeugschlosserlehrlinge außerdem noch in der Scharfschleiferei, Lehrenbau und Hinterdreherei. Die Modelltischlerlehrlinge werden in Modelltischlerei und Gießerei ausgebildet. Die Formerlehrlinge erhalten ihre Ausbildung in Kernmacherei und Formerei und bei besonderer Tüchtigkeit auch in der Modelltischlerei. Die Lehrlinge für Dreherei und Schlosserei können nach drei Jahren bei besonderer Tüchtigkeit zu Einrichtern weiter ausgebildet werden und, wenn sie die vorgeschriebenen Abteilungen so schnell absolviert haben, daß sie noch Zeit erübrigen, in der verbleibenden Zeit auch in der Gießerei ausgebildet werden.

Außerdem werden noch sogenannte Volontäre als ein- oder zweijährige Lehrlinge ausgebildet. Diese erhalten im Gegensatz zu den ersteren keinen Lohn, sondern sie haben ein bestimmtes Lehrgeld zu zahlen. Die vierjährigen Lehrlinge erhalten nach dem ersten Halbjahr einen Stundenlohn, der mit jedem folgenden Halbjahr steigt, und außerdem eine Prämie pro Arbeitsstunde, die sich nach ihren Leistungen richtet.

Für die theoretische Ausbildung in der Werkfortbildungsschule wird ihnen ein Tag in der Werkstatt freigegeben. Der Unterricht erfolgt in vier Klassen und erstreckt sich auf folgende Fächer: Deutsch, Rechnen, Geometrie, Fachzeichnen, Werkzeug- und Maschinenkunde, Rohstoffkunde, Bürgerkunde, Berufskunde, Werkstattkunde, gewerbliches Rechnen, Kalkulation, Buchführung.

Am Schlusse jeden halben Jahres wird den Lehrlingen von der Werkstatt und der Schule ein Zeugnis ausgestellt, die besten Lehrlinge werden mit Prämien bedacht, und am Ende der Lehrzeit erhalten sie ein Zeugnis über die Gesamtausbildung.

Die Lehrlinge unterhalten einen Sportklub, der unter Aufsicht der Lehrer steht und in dem nach Feierabend und Sonntags Sport und Spiel gepflegt wird. Sonntäglich werden öfter kleinere Partien in die Umgegend, zu Pfingsten gewöhnlich Reisen in das Gebirge oder an die See unternommen.

11. ARBEITERFÜRSORGE UND WOHLFAHRTSEINRICHTUNGEN

Vergleichen wir die Fabrikgebäude, die vor etwa 25 Jahren erbaut wurden, mit den heute üblichen, so wird schon der große Unterschied in dem äußeren Aussehen auffallen. Noch deutlicher ist der Unterschied im Inneren. Kleine Fenster, niedrige Räume, öfter das Fehlen aller für die Hygiene notwendigsten Einrichtungen sind das Kennzeichen der alten Bauweise. Im modernen Fabrikgebäude ist Luft und Licht die erste Bedingung; etwa drei Viertel der Wandfläche bestehen aus Glas, und die ganze innere Einrichtung läßt das Bestreben erkennen, dem Arbeiter den Aufenthalt in den Räumen angenehm zu machen und ihn vor den Schäden des Fabrikbetriebes zu schützen. Nach dieser Richtung hat unsere soziale Gesetzgebung, besonders die Vorschriften der Berufsgenossenschaften, Gutes bewirkt. Besonders befruchtend aber wirkte, wie in so vieler Hinsicht in der Industrie, das amerikanische

Vorbild. War es hier die soziale Fürsorge, die zur Schaffung gesunder Verhältnisse zwang, so hatte dort der kaufmännische und praktische Geist der Fabrikleiter dahin gewirkt. Man suchte und fand in der hygienischen Fabrikanlage ein Mittel gegen die starke Freizügigkeit der Arbeiter.

Ein guter Stamm alter Arbeiter ist eine Lebensbedingung für jedes Unternehmen, und deshalb versucht man, den Arbeiter durch gute Arbeits- und Lebensbedingungen an seine Arbeitsstätte zu fesseln. Es ist erstaunlich, welcher Aufwand von Zeit, Geld und Intelligenz in mancher amerikanischen Fabrik aufgewendet worden ist. Als Beispiel nennen wir die bekannte Anlage der National Register Cash Co., die ihre Einrichtungen nicht nur zu dem geschilderten Zwecke, sondern auch als wirksame Reklame benutzt. — Wenn wir den zu seiner Arbeitsstätte gehenden Arbeiter begleiten und die Umkleideräume (Abbildung 15) betreten, so fallen zuerst die Kleiderschränke aus Eisen und Drahtgeflecht auf, die ein vollkommenes Trocknen etwa naßgewordener Kleider ermöglichen und in gewissen Zeitabständen desinfiziert werden können. Für die Reinigung von Gesicht und Händen sind große Becken mit fließendem Wasser und in besonderen Zellen Brausebäder vorhanden. Beim Eintritt in die Arbeitsräume, desgleichen beim Verlassen derselben in den Pausen und nach der Arbeit passiert er einen Registrierapparat (Abbildung 16), an dem er selber die Zeit seines Ein- bzw. Ausgangs durch einen Zeitstempel auf-

Abbildung 15. Umkleideräume. Für jeden Mann ist ein Schrankabteil und ein Wasserzuflußrohr vorhanden.

Abbildung 16. Uhr mit Stempeleinrichtung.

druckt. Die Arbeitsräume sind hohe, luftige Räume (Abbildung 5), deren Heizung im Winter durch erwärmte Luft, die in die Räume eingepreßt wird, erfolgt. Im Sommer sorgt dieselbe Einrichtung für die Ventilation. Alle Mechanismen der Maschinen, die zu Verletzungen Veranlassung geben könnten, sind verkleidet oder unzugängig; an Maschinen, die Staub entwickeln, sind Absaugevorrichtungen angebracht (Abbildung 17). Für die Stillung des Durstes wird in einer appetitlich eingerichteten Teeküche schwach gezuckerter Tee hergestellt, der gegen Erlegung der geringen Kosten von den Arbeitern gern genommen wird. Stößt dem Arbeiter während der Arbeit ein Unfall zu, so sorgt der ständig im Arztzimmer anwesende Heilgehilfe und zu bestimmten Stunden des Tages ein Arzt für Hilfe (Abbildung 18). Während der Mittagspause kann der Arbeiter sein Mahl außerhalb der Arbeitsräume im Speisesaal einnehmen und die noch übrige Zeit zu einem Spaziergang im Garten der Fabrik benutzen (Abbildung 19).

Abbildung 17. Einrichtung zur Absaugung von Schleifstaub an einer Schleifmaschine.

Abbild. 18. Entfernung eines Fremdkörpers aus dem Auge durch den Arzt.

Für die Interessen der Arbeiter ist ein Ausschuß aus ihrer Mitte gewählt, der mit der Fabrikleitung über Arbeiterangelegenheiten beratet. Verbote und Strafen werden möglichst eingeschränkt, und dies Vertrauen zum guten Verhalten der Arbeiter wirkt mehr als beides zusammen. In vielen Werken ist neben der gesetzlich vorgeschriebenen Kranken-, Invaliden-und Altersversicherung noch ein Fonds vorhanden, der die in langen Jahren verdienstvoller Arbeit ergrauten Arbeiter im Alter

mit einer mehr oder weniger hohen Pension bedenkt. Wo die Wohnungsverhältnisse ungünstig sind, wird durch den Bau von Arbeiterwohnhäusern für billige und gute Wohnungen gesorgt. In ländlichen Bezirken hat man durch pachtweise oder käufliche Hergabe von Land zu Bau- und landwirtschaftlichen Zwecken die Bedürfnisse der Familien unterstützt, sowie durch Einrichtung von Kinderbewahranstalten und Hauspflegevereinen vorteilhaft auf die häuslichen Verhältnisse der Arbeiter gewirkt. Für die Ernährung wird durch Küchen, die man in den Werken errichtet, oder durch Abholung der in der Wohnung zubereiteten Speisen mittels Spezialwagen mit Wärmvorrichtung gesorgt.

Fast überall zeigt sich das Bestreben, durch gute und zweckmäßige Einrichtungen die Lebensführung der Arbeiter zu heben, und da, wo diese Vorsorge nicht die Form von Wohltaten angenommen, sondern in natürlicher Weise und ohne Aufdringlichkeit Platz gegriffen hat, hat man ihren Zweck am besten erreicht, während in anderem Falle nicht selten das Gegenteil von dem bewirkt wurde, was man beabsichtigte.

Abbild. 19. Garten mit Bänken zur Benutzung während der Arbeitspause.

DIE WIRTSCHAFTLICHE AUSGESTALTUNG DER GROSZFABRIKATION

VON CARL MOLLWO

1. DER EINFLUSZ DER TECHNIK AUF DEN ARBEITER UND DIE SOZIALE FRAGE

Wenn es auch im allgemeinen der Mensch ist, der die ihn umgebende Natur ausnutzt und beeinflußt in wirtschaftlichem Schaffen, und wenn die Tätigkeit des Menschen die wirtschaftlichen Formen gestaltet, in denen sich seine Arbeitsleistung vollzieht, so findet demgegenüber doch auch umgekehrt eine wesentliche Beeinflussung des Menschen in der Abfolge der Zeiten durch die von ihm und seinen Vorfahren geschaffenen wirtschaftlichen Zustände statt. Wie sich der Mensch die Technik seiner Arbeit schafft, so wirken auf ihn als einzelnen wie als Masse, deren Teil er bildet, die überkommenen Formen der wirtschaftlichen Arbeitsprozesse auf das allerumfassendste. Und wieder drücken die neuen Arbeits- und Wirtschaftsformen, die durch die Entwicklung der Technik bedingt sind, der Tätigkeit des Menschen ihren Stempel auf; insofern formen sie wieder die Technik der Arbeit und das menschliche, soziale und kulturelle Leben entscheidend. Eine unausgesetzte gegenseitige Befruchtung vollzieht sich zwischen Wirtschaft und Technik in ihrer steten Berührung mit Recht und Sitte.

Das Dasein des Unternehmers wie des Arbeiters, ihr Arbeiten in wirtschaftlicher und rechtlicher Freiheit oder Unfreiheit sind in ihrer Erscheinung direkt an die Art der Ausgestaltung der Produktion gebunden und bedingen wieder sie. Es ist daher nicht müßige Spekulation, wenn der Wirtschaftshistoriker schematisch eine Reihenfolge von Wirtschaftsstufen konstruiert, in denen wir die welthistorische Entwicklung sich vollziehen sehen. Die soziale Frage des Arbeiters, die Frage des Verhältnisses des Unternehmers zum Arbeiter und zum Arbeitsprozeß ist hier darzulegen, soweit die Technik darauf von nachweisbarem Einfluß ist.

Der freie Lohnarbeiter von heute, der Mann, der dem Markt die von ihm zu leistende und von ihm durch Lohnforderung bewertete Ware Arbeit zur Verfügung stellt, ist weder der bekannte Robinson noch etwa ein Arbeiter, der etwa in allen wirtschaftlichen Perioden, die uns bekannt sind, vorhanden wäre. Er ist ein Produkt unserer Wirtschaftsperiode und nur aus ihr und aus den Momenten heraus zu verstehen, die diese Wirtschaftsperiode als eine von allen anderen abweichende charakterisieren.

Das Altertum hat den freien Lohnarbeiter als Klasse nicht gekannt. Bei dem Massenaufgebot von Arbeitern, die wir bei den Riesenbauwerken des Altertums verwendet finden, die in sorgfältig geordneter Zusammenarbeit technische Leistungen ermöglicht haben, über deren Umfang, Zweckmäßigkeit, Schönheit und Dauer wir noch heute Bewunderung empfinden, ist es nicht der kulturelle Typus des freien Bürgers gewesen, dessen organischer Zusammenfassung zu Riesenleistungen diese Nutzeffekte zu danken sind, sondern der Sklave, eine Person, den das klassische römische Recht

nicht einmal als Person bewertet, sondern für den es den Ausdruck mancipium geprägt hat, den es als Sache behandelt. Charakteristisch für jene Periode ist im großen und ganzen neben der Verwendung von freier und Sklavenarbeit innerhalb der Hauswirtschaft die Zusammenballung von Sklavenmassen unter der Führung ihrer Eigentümer, die Selbstunternehmer waren, oder geleitet durch von solchen abhängige Unternehmer. Dieses Massenaufgebot unfreier Arbeit, in dem der Kampf um die Arbeitsbedingungen noch nicht existierte, wenn man die Stellung des Arbeiters zum Unternehmer ins Auge faßt, ist mit dem klassischen Altertum und seiner Technik zugrunde gegangen.

Die Überflutung Westeuropas mit germanischen Rechtsideen seit dem Beginn der Völkerwanderung und das für die meisten Gebiete Westeuropas so gut wie vollständige Zurücksinken der alten Kultur gegenüber den neu auftauchenden Lebens- und Wirtschaftsformen hat eine neue Welle der Entwicklung über Europa hinfluten lassen mit neuem Recht, neuer Wirtschaft und neuer Technik. Die folgenden Jahrhunderte haben eine Wiederkehr der alten Massenaufgebote menschlicher Arbeit auch bei der Herstellung der Riesenbauten sakraler und profaner Kunst des Mittelalters nicht gekannt. Handwerksmäßig ist die Arbeit und die Kunst jener Zeiten gewesen und geblieben, getragen von dem Zusammenwirken relativ weniger Arbeitskräfte und abgestellt auf zünftige Bindung des direkten Unternehmers. In der Hauswirtschaft des Mittelalters ist die soziale Gebundenheit der auf Herkommen beruhenden ständischen Gliederung des Volkes maßgebend. Freie, Halbfreie und Unfreie teilen sich in Stadt und Land in die wirtschaftlichen Tätigkeiten, gebunden durch Recht und Sitte. In der Stadt überwiegt durchaus freie, handwerkliche, gewerbliche Tätigkeit, auf dem Lande stehen freie und unfreie Arbeit im Landbau nebeneinander. Der Zug in die Stadt entsteht hauptsächlich, weil Stadtluft frei macht, nicht etwa, wie oftmals später, weil das platte Land die Existenzmöglichkeit versagte. Die Stadt wurde die Zuflucht dessen, der aus irgendwelchen Gründen unfreier Gebundenheit entgehen wollte. Der Charakter der mittelalterlichen Stadt ist, abgesehen von ihrer Qualität als Marktort, gegeben durch die Gemeinschaft der Handwerker, die neben der Sorge für den eigenen Haushalt ihr wirtschaftliches Tun den Bedürfnissen des Kunden und des Marktes anpassen. Neben ihnen steht ein Patriziat, und am Ende dieser Periode taucht der Kaufmann und der Unternehmer auf, der noch innerhalb der sozialen Bindung der Stadtwirtschaft beginnt, größere Mengen handwerklich oder heimwerkmäßig geschulter Arbeit in seiner Hand zusammenfassend.

Während in dieser ganzen Periode die technische Arbeit sich in der Form vollzogen hatte, daß der Handwerker allein oder mit Hilfskräften, die demselben Stande wie er entstammten und, wie er selbst, im allgemeinen innerhalb dieses Standes vom Lehrling zum Meister aufstiegen, mit eigenem Handwerkszeug in eigener Werkstatt technisch produzierte, im wesentlichen ohne Kraftmaschinen oder Werkzeugmaschinen zu verwenden, ist die nun folgende Periode charakterisiert durch die Einführung maschinellen Betriebes in den Ablauf des Arbeitsprozesses, und damit tritt ein neues Moment sozialer Differenzierung in die Entwicklung ein. Während es bisher nicht allein möglich, sondern selbstverständlich war, daß der Arbeiter, solange er nicht nur Hilfsperson war, das zu technischer Produktion notwendige Arbeitsgerät in eigenem Besitz hatte, verändert die Existenz der teuren Maschine die wirtschaftliche und damit die soziale Lage einer großen Schicht von Arbeitern von Grund aus. Die Tatsache, daß es von nun an nicht mehr die Regel ist, den Besitz aller Vorbedingungen für die nun entstehende, durch Maschinentechnik beförderte und bedingte Arbeits-

leistung selbst in einer Hand zu vereinen, zwingt zur Entstehung eines wirklichen Unternehmerstandes, der entweder Kapital besitzt oder von anderer Hand erhält, und ihm gegenüber zur Bildung einer Arbeiterklasse, die diejenigen umfaßt, die wegen Mangel an Kapital oder wirtschaftlichem Können nicht Unternehmer sind. Der freie Arbeiter tritt auf, dem nichts zur Verfügung steht als seine gesunden Glieder, seine physische und psychische Arbeitsfähigkeit. Während der Arbeiter der früheren Perioden, soweit er aus dem Hausverband losgelöst war, ein fertiges, von ihm hergestelltes Arbeitsprodukt dem Kunden oder dem Markt zur Verfügung stellte, liefert der neue Arbeiter des technischen Zeitalters nichts als seine Arbeitsfähigkeit, die er nun zu Markte trägt mit seiner Haut. In der zum Markt gewordenen Welt stellt er seine Ware Arbeit zum Verkauf, von ihr lebt er; von ihr muß er leben, und wenn sie nicht gebraucht wird oder wenn sie so ungenügend bezahlt wird, daß ihre Verwertung die Kosten seiner Lebenshaltung nicht mehr decken kann, ist seine Existenz in der bisherigen Form der Lebenshaltung für ihn unmöglich geworden. Wohnungs- und Lebensmittelteuerung trifft ihn in ganz anderer Weise als alle anderen Volksgenossen. Der Preis der Arbeit ist es, der Preis, den sie am Arbeitsmarkt findet, der über Leben und Sterben dieser ganzen Klasse täglich entscheidet. Das ist der Grund, warum der Lohnkampf in unserer Zeit, die die Klasse des Lohnarbeiters hat entstehen lassen, das zentrale Moment im Leben, Denken und Fühlen des Lohnarbeiters ausmacht, warum dieser Kampf ihn stärker erfaßt als Religion und Weltanschauung, als Liebe zum Vaterland oder zur engeren Heimat; es handelt sich dabei um seine Existenz. Nicht der technische Übergang zur Fabrikarbeit, die als das Zeichen unserer Zeit für den Arbeiter allgemein betrachtet wird, ist es allein, was den Arbeiter unserer Tage so grundlegend von dem der früheren Zeit unterscheidet, wenn auch natürlich die durch die maschinelle Durchführung eines bisher manuell sich vollziehenden technischen Vorganges entstehende Differenzierung stark dabei mitgewirkt hat, sondern die Loslösung des Lohnarbeiters mit seinen Existenzkämpfen von alledem, was früher fast das ganze Volk in gewissem Sinne bodenständig hatte erscheinen und leben lassen, die Tatsache, daß er nur noch auf die tägliche, ihn völlig für das ganze Leben ausfüllende Lohnarbeit angewiesen wurde, die ihn häufig entwurzelt und die ihm mit der Mechanisierung des Arbeitsprozesses die Freude an der Fertigstellung einer Arbeit aus einem Guß geraubt hat. Die Konzentration dieser Lohnarbeitermassen an den Zentralpunkten der Industrie, das Vorwiegen der Fabrikarbeit in diesen Kreisen, die Zusammenballung gleichgearteter Kreise von Lohnarbeitern in Städten, ohne jede Möglichkeit des Erwerbs einer eigenen Scholle und fast ohne die Möglichkeit anderer Betätigung als eben innerhalb der Fabrik, haben mit jenem Vorgange zusammen dahin geführt, diesen neuen Stand mit seinem von allen früheren und fast allen anderen Erwerbskreisen abweichenden Gefühlsinhalt zu schaffen.

Aber es ist unrichtig, wenn viele heute, sobald von sozialer Frage die Rede ist, sie nur als isolierte Arbeiterfrage auffassen und dabei vergessen, den Zusammenhang zwischen diesen durch die neuzeitliche Entwicklung in gewissem Sinne von allen anderen Kreisen losgelösten Massen mit dem Unternehmer dauernd im Auge zu behalten. Die soziale Frage der Technik ist zwar auch eine Arbeiterfrage, aber nicht die Arbeiterfrage; die soziale Frage hat als wesentlichsten Inhalt die Stellung des Unternehmers zur Arbeit und zum Arbeiter, das Verhältnis des Arbeiters zur Arbeit und zum Unternehmer und die Stellung der Gesellschaft und des Staates zu beiden. Daher ist auch die soziale Frage sogar, wenn man sie als reine Arbeiterfrage auf-

gefaßt hat, nicht ein Internum zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer, sondern im eminentesten Sinne die Grundfrage, die alle Kreise des Volkes beschäftigen muß.

DIE SOZIALE FRAGE ALS ARBEITERFRAGE. a) Der Arbeiter als Individuum und als Massenerscheinung. Der Arbeiter von heute unterscheidet sich von dem Arbeiter früherer Perioden wesentlich dadurch, daß er nicht wie jener in der Regel als Individuum auftritt, sondern als Massenerscheinung. Gewiß gibt es auch heute noch den isolierten Arbeiter auf dem Lande wie in der Stadt, der im Kreise seiner Familie tätig geblieben ist. Aber nicht dieser ist der Typus des modernen Arbeiters, ihn bildet die große Zahl derer, die in Fabriken, in Riesenwerken zu Hunderten und Tausenden vereinigt einem Unternehmen dienen. Sie leben zwar auch noch zu einem Teil, wie besonders in Süddeutschland, dezentralisiert über das ganze Land hin, in der Hauptsache aber in den Industriegebieten, in denen sich Fabrik neben Fabrik, Werk neben Werk erstreckt, in Großstädten zusammengedrängt. So ist es gekommen, daß die Gemeinsamkeit ihrer Interessen diese große Masse in ganz anderem Maße durchdrungen und zusammengeschweißt hat, wie das in früheren Perioden hat der Fall sein können. Es kommt hinzu, daß in diesen Arbeiterheeren der einzelne mit dem anderen in ganz anderem Zusammenhange steht als früher. Während in früheren Perioden die Gemeinsamkeit der Herkunft und des Standes, lokales Benachbartsein und Blutsverwandtschaft, Bekanntschaft von Kindesbeinen an soziale Zusammenhänge menschlichster, individuellster Natur schufen, liegen die Zusammenhänge der großen Arbeitermassen von heute nicht auf dem Gebiete gemeinsamer Herkunft, gemeinsamen Aufwachsens, sondern ausschließlich in dem gemeinsamen Interesse an der Erzielung bestmöglicher Löhne und möglichst guter Arbeitsbedingungen. Unsere Binnenwanderung hat dahin geführt, daß es selten geworden ist, daß der Arbeiter sein Leben an seinem Geburtsorte verbringt. Ihn treibt die Erlangung einer guten Arbeitsstelle innerhalb des Reiches hin und her, und seine Kameraden sind nicht die Orts- und Stammesgenossen von früher, sondern Menschen, zusammengewürfelt aus allen Gauen, aus allen Ständen; und diese Menschenmasse ist, besonders in der Schwerindustrie, durchsetzt mit der enormen, stets steigenden Zahl ausländischer Arbeiter, deren Qualität, deren sittliches und kulturelles Niveau zum Teil weit unter dem seinen liegt, mit Arbeitsgenossen, die er als solche teilweise nur widerwillig in den Kauf nimmt, weil sie ihm mit ihren geringen Lebensansprüchen, ihrer niedrigen Kultur als gefährliche Lohndrücker, als Gegner in den eigenen Reihen erscheinen.

Während man in früheren Perioden davon sprechen konnte, daß das Bildungsniveau des Arbeiters zwar provinziell verschieden, aber innerhalb einer bestimmten Gegend sich doch ungefähr auf gleicher Höhe befinde, kann davon heute trotz der umfangreichen segensreichen Wirkungen der allgemeinen Volksschule nicht die Rede sein. Die auch heute noch vorhandenen provinziellen Unterschiede machen sich in dem Zusammenleben großer Arbeitermassen geltend, sie werden verstärkt durch die Anwesenheit der Massen ausländischer Arbeiter, und der Gegensatz ländlicher und städtischer Herkunft macht sich im ganzen Arbeiterleben noch bis in die Höheperiode seines Verdienstes, die dreißiger Jahre, regelmäßig geltend in seiner Weltanschauung.

Unauflöslich verbunden mit der Arbeitermasse ist in den Betrieben größeren Umfanges die wachsende Zahl technisch und kontormäßig vorgebildeter Bureauangestellter, die zwar eine Arbeiterschicht mit gehobenem Bildungsniveau darstellen, aber in den Hauptpunkten, die ihr Dasein entscheiden, in den Fragen des Anstellungsvertrages

und den Fragen der Entlohnung sich in nichts wesentlichem von der an sich kaum gegliederten Arbeitermasse unterscheiden. Über sie hinaus erhebt sich die Schicht der technischen Beamten, die sich nicht allein durch höhere Bildungsart, nicht allein durch ihre soziale Zusammengehörigkeit mit den führenden Kreisen des gesamten Volkes von den Handarbeitern und Bureauangestellten unterscheiden, sondern auch durch ihre Tätigkeit, die nicht allein auf Kommando und Wink erfolgt, sondern eigene Entscheidung und Selbstverantwortung fordert, einen für sich geschlossenen Kreis bilden, der dadurch, daß ihm vom Unternehmer und Leiter des Betriebes seine Funktionen übertragen werden, dem Kreise der Unternehmer ihr Standesinteresse, ihr soziales Empfinden und ihre Weltanschauung als zugehörig sichert.

Worauf beruht nun, wenn man diese Kreise unter dem Gesichtswinkel der Arbeit, in der sie tätig sind, ansieht, ihre Weltanschauung? Es kann nicht bezweifelt werden, daß religiöse Gedanken, Erziehung auf konfessioneller Grundlage auch in diesen Kreisen ebenso wie in den meisten Schichten des Volkes die Weltanschauung lebhaft beeinflussen. Auf der anderen Seite wäre es voreilig, anzunehmen, daß religiöse Weltanschauung heute noch in den Massen entscheidend wirkt. In der Not des Kampfes ist eine transzendentale Auffassung der Welt, des Lebens- und des Einzelschicksals immer mehr zurückgetreten. Die Verhältnisse der christlichen Gewerkschaften zeigen das aufs allerdeutlichste. Die Lebenstendenz geht durchaus auf das Diesseits, und wieder sind es der Lohn und die Gewinnung günstiger Arbeitsbedingungen, die entscheidend die Gedankengänge der Arbeitermassen wie die der Angestellten bestimmen. Man darf auch die Augen nicht davor verschließen, daß gerade die Momente, die in früheren ruhigeren Perioden geeignet waren, das Schicksal des einzelnen mit dem anderer, ihm nächststehender Personen zu verbinden und ihn auf diese Zukunft zu verweisen, heute stark in den Hintergrund gedrängt sind. Wenn in früherer Zeit die Eingehung einer Ehe, die Begründung eines eigenen Hausstandes als selbstverständliche Konsequenz ein Zusammenleben der so Vereinten mit ihrer hinzukommenden Kinderschar zur Folge hatte, ist die Arbeiterehe von heute etwas durchaus anderes. Sie wird frühzeitiger geschlossen als vormals, oft zu früh, schon deswegen, weil der Industriearbeiter von heute relativ schnell einen im Verhältnis zu dem insgesamt im Verlaufe seines Lebens von ihm zu erreichenden Lohnquantum hohen Lohn erhält. Trotzdem ist der Anteil der Arbeiterfrauen an eigener Fabrikarbeit bedeutend. Häufig fehlt die Reife zur Ehe, die notwendige Selbstbescheidung. Dieses Moment und in vielen Fällen die Unmöglichkeit, während der Tageszeit in die eigene Wohnung zurückkehren zu können, und die häufig technisch erforderliche Einlegung von Nachtarbeit zersplittern das Familienleben. Teuerungsverhältnisse, Lohnverluste durch Streik und Aussperrung verursachen Störungen des Haushaltes, die leider zu angestrengter Frauenarbeit, ja zur Kinderarbeit zu führen pflegen, kurz, es handelt sich nicht mehr um ein Familienleben wie in früheren Zeiten, sondern um ein zeitweises Zusammengehen auf einem Stück des Lebensweges, wobei heranwachsende Kinder durchaus nicht regelmäßig als Glück, sondern als hindernde Last empfunden werden. So bildet sich immer mehr eine Verdrossenheit gegenüber dem Leben, verbunden mit einer Steigerung der Ansprüche an materiellen Lebensgenuß heraus. Wo es nicht gelingt, was glücklicherweise in vielen Fällen erreicht wird, durch Schaffung angemessener Arbeitsbedingungen und ausreichender Löhne, durch Wohlfahrtseinrichtungen der Unternehmer, der Gesellschaft oder des Staates die Schattenseiten des modernen Arbeiterdaseins durch Lichtseiten zu ergänzen, ergreift tiefer Pessimismus die Massen und treibt sie der Sozialdemo-

kratie in die Arme. Nicht deren politisch-philosophisches Programm ist bei ihr das die Massen Anziehende, sondern ihr Versprechen, Besserung zu schaffen. Leider muß anerkannt werden, daß soziale Fürsorge über das gesetzliche Maß hinaus nicht überall erreicht ist.

Dem Staat und der Gemeinde gegenüber empfindet der moderne Arbeiter durchaus anders als früher. Die gottgewollten Abhängigkeiten, die der mit der Scholle verwachsene, auf die Dauer gebundene Arbeiter früherer Zeit noch als recht und billig zu empfinden vermochte, sind für den durch die Binnenwanderung entwurzelten Fabrikarbeiter nicht mehr vorhanden. Der Übergang des modernen Staates zur Anerkennung der staatsbürgerlichen Gleichberechtigung aller Bürger hat den Arbeiter mit einem berechtigten politischen Selbstgefühl erfüllt, das ihn Tag für Tag darauf hinweist, sich durch Beteiligung am politischen Kampfe einen besseren Platz im Leben zu erringen. Der Gemeinde steht der meistenteils zugewanderte Fabrikarbeiter fremd gegenüber. Wie sie ihn häufig als unwillkommenen Eindringling in ihren Kreis empfindet, so fehlt ihm das Bewußtsein selbstverständlicher Zugehörigkeit, und er ist leicht bestimmt, auch dieses öffentlich-rechtliche Verhältnis im Kampfe ums Dasein auszunutzen, in grundsätzlicher Opposition und Negation das Heil zu suchen.

Und wenn man die Stellung des Arbeiters zu dem Betriebe, dem er angehört, ins Auge faßt, so tritt einem als entscheidend immer wieder der Gedanke entgegen: das Unternehmen, dem die Arbeit des einzelnen gewidmet wird, ist ihm nur die Lohnquelle, der er seine Arbeit verkauft, weil er glaubt, sie keiner anderen teurer verkaufen zu können. Das Gefühl gemütlicher, menschlicher Zugehörigkeit zum Betriebe erwächst im besten Fall in modernen Arbeitern bei langjähriger Zugehörigkeit zu einem solchen, kann aber für die großen Massen der Arbeiter weder festgestellt noch von ihnen verlangt werden. Und diese Gemütlosigkeit in der Anknüpfung und Aufgabe des Vertragsverhältnisses zu dem Betriebe, der den Empfänger der Arbeitsleistung des einzelnen bildet, ist berechtigt; denn ebenso wie sich der Arbeiter von seinem Betriebe trennt, sobald ein anderer durch höhere Löhne oder bessere Arbeitsbedingungen ihm mehr zu bieten scheint, ebenso leicht trennt sich der Unternehmer in Zeiten mangelnden Arbeitsbedürfnisses, mangelnder Nachfrage nach Arbeit von dem Arbeiter. Hier liegt der Grund, weswegen die Wohlfahrtseinrichtungen der Unternehmungen eine so enorme Bedeutung gewinnen können, ganz gleich, ob sie aus rein sozialem Empfinden als reine Wohlfahrtseinrichtungen sozialer Fürsorge gewidmet sind, oder ob sie nur als Mittel zu dem Zweck dienen sollen, dem Unternehmen einen festen Arbeiterstamm durch Fesselung von Arbeitern an vorhandene Wohlfahrtseinrichtungen zu gewährleisten. Das Gefühl der Zugehörigkeit des Arbeiters zum Betriebe kann bei unseren heutigen Verhältnissen erst in dem Augenblick erwachsen, in dem der Unternehmer dem Arbeiter über das Maß dessen hinaus, wozu er durch den Arbeitsvertrag und durch die gesetzlich eingeführte Sozialpolitik verpflichtet ist, Vorteile gewährt, die dem Arbeiter das Leben gerade in Verbindung mit diesem Betriebe erstrebenswert erscheinen lassen können.

b) Der Arbeitsvertrag. Das Leben des Arbeiters an einem bestimmten Orte hat für seine Existenz, für seine Zugehörigkeit zu einem bestimmten Betriebe eine Reihe von Folgen, die auf die Lebenstendenz des einzelnen entscheidenden Einfluß haben. Alle diese Beziehungen werden hergestellt durch den Arbeitsvertrag und wirken auf ihn ein. Es ist höchst charakteristisch, daß das Recht des Arbeitsvertrages in Deutschland heute noch nicht geregelt ist. Gewiß gibt es eine Unsumme von Rechtsbestimmungen, die zur Regelung des Rechts des Arbeitsvertrages bestimmt sind, aber eine

zusammenhängende systematische Durchbildung des Rechts des Arbeitsvertrages steht noch aus und ist heute die Forderung aller nichtkonservativen politischen Parteien geworden; mit Recht, denn der Arbeitsvertrag bildet die rechtliche Unterlage dafür, wie sich das Leben des Arbeiters, der Masse, tatsächlich abspielt. Denn die einzige Ware, die der Arbeiter auf dem Markt des Lebens feilhalten kann, ist seine Arbeitskraft. Mit ihr steht und fällt für ihn alles. Wesentlich ist, daß das Recht nur den individuellen Arbeitsvertrag kennt. Das Recht geht von dem Standpunkt aus, daß der Unternehmer mit jedem einzelnen Arbeiter einen Arbeitsvertrag abschließt. Er setzt voraus, daß bei dieser Gelegenheit ein Vertrag zustande kommt, bei dem über den Preis des Vertragsobjekts, der Arbeit, nämlich den Lohn, eine vertragliche Vereinbarung zwischen zwei Kontrahenten erfolgt, die beide mit freiem Willen ohne Behinderung an den Abschluß des Vertrages herantreten, und bei denen nach Abschluß dieses Vertrages anzunehmen ist, daß dieser Vertrag dem vollen freien Willen, der Überzeugung beider vertragschließender Teile von der Richtigkeit und Angemessenheit des Abschlusses entspricht. Jedermann weiß, daß in der Praxis des Lebens der Abschluß eines Arbeitsvertrages anders aussieht; der Unternehmer selbst kümmert sich grundsätzlich um den Inhalt des Arbeitsvertrages und um den tatsächlichen Abschluß von Arbeitsverträgen kaum, sondern beauftragt mit dem Abschluß solcher Verträge untere Angestellte, die formulargemäß Bedingungen, Arbeitsbedingungen und Lohnsätze aufstellen, denen der Arbeitsuchende nur mit Annahme der Bedingungen und der Lohnhöhe oder mit Verzicht auf Erlangung von Arbeit antworten kann. Eine vertragsmäßige Verhandlung über den Inhalt des Arbeitsvertrages findet nie statt. Der freie Arbeitsvertrag ist eine juristische Fiktion, wenn man die tatsächlichen Verhältnisse des Arbeitsmarktes ins Auge faßt.

Das ist der Grund, weswegen die Arbeiter allenthalben auf Grund des ihnen wie fast allen Staatsbürgern gewährten Koalitionsrechts gemeinsam durch Organisationen ihres Vertrauens über den Arbeitsvertrag zu verhandeln wünschen und mit geringen Ausnahmen dem kollektiven Arbeitsvertragsabschluß zustreben. Es ist ein ander Ding, ob der einzelne Arbeiter von dem Werkmeister eines Hüttenwerks zur Arbeit angenommen wird, oder ob eine Gewerkschaft mit den in Betracht kommenden Arbeitgeberverbänden ev. vereinigten Hüttenwerken oder dem einzelnen Großbetrieb über den Abschluß der grundsätzlichen Arbeitsbedingungen, der allgemeinen Lohnhöhe und der Lohnsätze und Lohnskalen für höher gelohnte Arbeiter oder sonstwie zu differenzierende Personen verhandelt und dann solche den beiden Parteien für den Abschluß eines individuellen Arbeitsvertrages zur Verfügung stellt. Der Kampf um die Durchsetzung der kollektiven Arbeitsverträge und der Tarifverträge und um die Erzwingung der Anerkennung der Arbeiterorganisationen als legitimierter Vertreter der isolierten Arbeiter wird nie aufhören, denn das sind die einzigen rationellen Mittel, um die natürliche und immer vorhandene Unterlegenheit des einzelnen, des isolierten Arbeiters gegenüber dem Unternehmer in einer den Formen der heutigen Gesellschaft entsprechenden Weise zu korrigieren.

Nicht ganz dasselbe ist von dem Kampfe um den Dienstvertrag zu sagen. Gewiß, für den Fall, in dem der auf Dienstvertrag Anzustellende im wesentlichen sich nur als anders beschäftigter Arbeiter fühlt und fühlen muß, wird auch hier der Kampf um den kollektiven Dienstvertrag und die Angestelltenorganisation durchgeführt werden müssen. Anders liegt es bei den wirklichen, schon in die Unternehmersphäre übergreifenden Angestellten der technischen Betriebe, den technischen Beamten. Es kann nicht anerkannt werden, daß sie wirtschaftlich gleich schwach seien wie die

Arbeiter, die mit Recht die mögliche Ausbildung des Arbeitsvertrages zu ihren Gunsten verlangen. Gewiß ist zuzugeben, daß auch sie sich wirtschaftlich teilweise vollständig dem Belieben des Unternehmers preisgegeben fühlen. Aber es wäre eine Übertreibung, zu behaupten, daß das für diesen ganzen Kreis zuträfe und die Gesamtheit schädige. Die höhere intellektuelle Ausbildung, die auf Selbstverantwortung des einzelnen basierte vertragliche Verpflichtung ist derartig individuell geartet, daß der Kampf mit Zielen, wie sie der Arbeiterbewegung adäquat sind und für sie durchaus zu vertreten bleiben, für diesen relativ kleinen Kreis höherer Angestellten undurchführbar wird.

Die tatsächliche Differenz, die sich aus der rechtlichen Fiktion des individuellen freien Arbeitsvertrages und der tatsächlichen Unmöglichkeit, wirklich einen solchen freien Arbeitsvertrag abzuschließen, ergibt, führt zum sozialen Kampf, sie führt zur Aussperrung, zum Streik mit oder ohne Kontraktbruch, zum Boykott und zur Aussperrung einzelner und ganzer Gruppen. Das Mittel ist das Koalitionsrecht, das Gesetzgebung und Rechtsprechung in den wesentlichen Punkten durchaus anerkennen. Die Durchführung der eben genannten Methoden ist durchaus als legal zu bezeichnen. Man kann es auf das allerhöchste bedauern, daß Deutschland jahraus jahrein durch Tausende von wirtschaftlichen Kämpfen erschüttert wird, aber man wird zugeben müssen, daß es kein anderes Mittel zur Durchführung der von beiden Seiten aufgestellten Forderungen gibt, sobald Verhandlungen nicht zur Einigung, zum Abschluß neuer Verträge geführt haben, oder wo sogar, was leider vielfach noch immer der Fall ist, auf der Unternehmerseite grundsätzlich die Verhandlung, ja sogar die Anerkennung der Verhandlungsberechtigung der Arbeiterorganisation abgelehnt wird. Bei unseren bestehenden Rechtszuständen und den tatsächlichen Verhältnissen im wirtschaftlichen Leben muß solche politische Rückständigkeit auf das schärfste bekämpft werden. Kein Unternehmer vergibt sich irgend etwas, wenn er den tatsächlichen Verhältnissen Rechnung trägt und über Löhne und Arbeitsbedingungen verhandelt. Kein Mensch verlangt von ihm, daß er es freudestrahlend tue, ebenso wie kein Mensch mit Recht behaupten dürfte, daß der Kampf um die Arbeitsbedingungen den Arbeitnehmern ein Vergnügen sei. Es ist aber heute anerkannte soziale Pflicht, den Wirtschaftskörper vor den Erschütterungen zu bewahren, die unausbleiblich sind, wenn von vornherein durch die Verweigerung von Verhandlungen die Möglichkeit friedlicher Beilegung bestehender Differenzen ausgeschaltet wird. Denn es darf nicht bezweifelt werden, daß jeder Streik, jeder Boykott und jede Aussperrung dem Nationalvermögen tiefe Wunden schlägt, Wunden, die häufig außer Verhältnis zu den Vorteilen stehen, die durch sie direkt erreicht werden. Es sind eben Mittel des Kampfes, bei dem beide Gegner je nach den einzelnen Fällen mehr oder weniger zu leiden haben. Immer aber bedeutet die Erschütterung des Wirtschaftslebens durch diesen Kampf eine unnütze Schädigung der Gesamtheit.

Eins der wichtigsten und zu gleicher Zeit gefährlichsten Mittel, den Arbeitsvertrag zu beeinflussen, bildet heute der Arbeitsnachweis. Der Arbeitsnachweis befindet sich heute praktisch entweder in der Hand der Unternehmer, oder er wird auf Grund vertraglichen Übereinkommens paritätisch von Arbeitgebern und Arbeitnehmern gemeinsam geleitet, oder Organe, die beiden Kreisen nicht angehören, wie der Staat, Kommunen, soziale Organisationen versuchen den Arbeitsnachweis durchzuführen. Auch reine Arbeiternachweise kommen vor. Es hat sich herausgestellt, daß die Nachweise der Arbeitgeber wie die der Arbeitnehmer sich häufig durch Mißbrauch zu neuen Mitteln sozialen Kampfes auswachsen, während die paritätischen und kommunalen

Arbeitsnachweise im großen und ganzen gerade Kämpfen vorgebeugt haben und durchaus geeignet erscheinen, dem sozialen Frieden zu dienen.

DER UNTERNEHMER UND DIE UNTERNEHMUNG. Der Unternehmer von heute ist genau wie der moderne Arbeiter ein Kind der Neuzeit. Er hat seinesgleichen in früheren Perioden nicht. Auch die unpersönliche Unternehmung ist ein soziales und wirtschaftliches Gebilde, das zwar seine Wurzeln in der Vergangenheit hat, in seiner heutigen Ausbildung jedoch etwas völlig Neues darstellt. Unternehmer und Unternehmung sind Produkte des Kapitalismus. Was den arbeitenden Unternehmer entscheidend von jedem anderen im wirtschaftlichen Leben Tätigen unterscheidet, ist der Besitz oder wenigstens die Möglichkeit der Verwendung von Kapital für den Produktionsprozeß neben der eigenen ev. sogar durch andere ersetzbaren Arbeitsleistung. Kapitalbesitz hat von jeher Macht gegeben. Es ist nicht mehr wie natürlich, daß die Verfügung über Kapital die Grundlage eines Machtverhältnisses zwischen Unternehmer und Arbeiter geworden ist.

Der ursprüngliche Typus des Unternehmers ist der patriarchalische Arbeitgeber, der ursprüngliche Typus der Unternehmung das patriarchalische System der Unternehmung. Wenn auch selbstverständlich Rechtsbeziehungen zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer in allen Fällen vorgelegen haben und vorliegen, so sind die persönlichen Beziehungen des Unternehmers gegenüber dem Arbeiter im Anfang der modernen Zeit in der Hauptsache durch volle wirtschaftliche Abhängigkeit des Arbeitnehmers vom Arbeitgeber charakterisiert, und es gibt eine große Reihe von Betrieben, in denen es den Unternehmern oder den Leitern von Unternehmungen noch nicht zum Bewußtsein gekommen ist, daß diese Periode patriarchalischer Behandlung des Arbeitsverhältnisses antiquiert ist. In der Rechtsauffassung der Arbeiterklassen und der Gesellschaft kann man sie nicht mehr finden. Die Vorzüge des patriarchalischen Systems waren große. Da eine gewisse wirtschaftliche Abhängigkeit des Arbeitnehmers vom Arbeitgeber immer bestehen muß, war es für den Arbeiter, solange er diese gottgewollte Abhängigkeit mit ihren Konsequenzen anerkannte, besonders mit dem absoluten Verfügungsrecht des Arbeitgebers einverstanden war oder wenigstens nicht daran zu rütteln wagte, segensreich, denn den Rechten des patriarchalischen Arbeitgebers standen ebenso allgemein anerkannte Verpflichtungen zur Fürsorge des Arbeitnehmers gegenüber, Pflichten, die zweifellos von weiten Kreisen des Unternehmertums willig und tatkräftig getragen sind. Die aus demokratischer Wurzel erwachsene moderne Weltanschauung, die dies patriarchalische System perhorresziert, hat, indem sie dem Arbeiter mit der Übergabe politischer Rechte den Kampf um Lohn und Arbeitsbedingungen nahelegte, den Arbeiter aus einer relativ geschützten Stellung getrieben, indem sie an die Stelle der in weitem Umfang vorhandenen behaglichen Situation des Arbeiters unter dem Schutz des patriarchalischen Arbeitgebers ihn bewußt in den Kampf um Lohn und Arbeitsbedingungen drängte, weil er Staatsbürger sei.

Der Unternehmer von heute kann daher seine Fürsorgetätigkeit, den Ausdruck seines sozialen Empfindens nicht mehr wie früher seiner herrschenden Situation, dem patriarchalischen Arbeitssystem, entnehmen. Ihm muß heute eine gereifte soziale Überzeugung von der Gleichberechtigung der Staatsbürger, trotz vorhandener Ungleichheit, Humanität und der Wille, selbstauferlegte gegenseitige Pflichten aller Staatsangehörigen zu tragen, die praktisch erforderliche Korrektur seines an sich völlig berechtigten nackten Rechtsstandpunkts, den er als Unternehmer beim Abschluß des Arbeitsvertrags wahrzunehmen hat, ermöglichen.

Es mag sehr fraglich sein, ob die heutige Situation nach der fast allgemeinen Beseitigung des patriarchalischen Systems in der Unternehmung Arbeitern und Unternehmern günstiger ist als die frühere. Es hilft aber nichts, darüber Meditationen anzustellen, der Schritt aus dem patriarchalischen Arbeitssystem heraus ist getan und nicht zurückzutun.

Wesentlich ist diese Entwicklung dadurch gefördert und beschleunigt worden, daß an die Stelle der früher vorhandenen rein persönlichen Unternehmungen die gesellschaftlich konstruierten unpersönlichen Unternehmungen in weitem Umfange getreten sind. Weil bei dem patriarchalischen System auf die Individualität des Unternehmers so gut wie alles ankommt, müssen die Versuche zur Lösung der sozialen Frage und das Streben nach einer solchen bei Vorwiegen der persönlichen Einzelunternehmung ein anderes sein, als wenn die Überzahl der in Betracht kommenden Unternehmungen unpersönlich ausgestaltet ist, wenn nicht mehr der erwerbende, nur sich selbst verantwortliche Unternehmer selbst, sondern leitende Direktoren einer Erwerbsgesellschaft die Unternehmung führen.

Der Gedanke, daß innerhalb der Unternehmung irgend jemand anderem als dem persönlichen Leiter der Unternehmung irgendeine Ingerenz auf die Entwicklung der Unternehmung und die Zustände in ihr verstattet werden könnte, hat innerhalb der alten Einzelunternehmung, geleitet von dem persönlichen Inhaber in patriarchalischer Auffassung seiner Rechte und Pflichten, überhaupt nicht kommen können. Daß heute der Kampf um das konstitutionelle System in der Fabrik, daß heute eine geregelte Einwirkung der im Betriebe Beschäftigten auf bestimmte Einzelheiten seiner Zustände und seiner Leitung begonnen hat und ausgefochten werden muß, ist das Zeichen einer neuen Zeit. Dazwischen liegt der Kampf um die Anerkennung der Berechtigung der einzelnen, ihre Anschauungen, soweit sie Löhne und Arbeitsbedingungen betreffen, in der Unternehmung zur Sprache und ev. zur Geltung zu bringen. Ausgegangen ist der Kampf um die Gleichberechtigung vom politischen Gebiet. Er ist übertragen auf den allgemeinen wirtschaftlichen Kampf und sendet seine letzten Ausläufer in die Entwicklung des einzelnen Betriebes, der einzelnen Unternehmung. Und das ist das Charakteristische, daß, wenn auch diese Entwicklung wirtschaftlich ihren Ausgangspunkt von der unpersönlichen Gesellschaft, von ihren verschiedenen Formen genommen hat, daß sie nun auch auf die vorhandenen, von einer Einzelperson geleiteten Unternehmungen überzugreifen beginnt. Gewiß liegt in diesen Momenten ein destruktives Element der neuen Zeit und eine Zumutung an die Einzelunternehmung. Aber es darf nicht verkannt werden, daß auch Keime neuen Lebens in diesen Erscheinungen liegen.

Der Patriarch war Herr in seiner Unternehmung, und ihre Erfolge hat die Unternehmung von jeher dadurch erzielt, daß sie autokratisch, diktatorisch geleitet ist, was ihre Wirtschaft angeht. Es kann nicht bezweifelt werden, daß die sozialisierte Unternehmung dieser Stoßkraft entbehren mußte. Und in dieser Erkenntnis ist die Grenze der Möglichkeit der Beeinflussung der Unternehmung durch die in ihr Beschäftigten gegeben. Wenn man auch durchaus die Berechtigung der Arbeitnehmer anerkennt, sich durch Koalition dem Unternehmer gegenüber stark zu machen und ihn auf dem Wege legaler Verhandlung im freien Spiel der Kräfte zu zwingen, zu versuchen, bestimmte Forderungen nach Löhnen und Arbeitsbedingungen durchzudrücken und in die Praxis umzusetzen, so wird man deswegen durchaus noch nicht geneigt sein müssen, durch mechanische Übertragung dieser Rechte auf alle Gebiete der Unternehmung diese ihres Lebenselements, des Willens des Leiters, zu berauben. Der Wille, die

Intelligenz, die Energie und die gesamte Persönlichkeit des Leiters einer Unternehmung, mag er nun Eigentümer der Unternehmung oder nur ihr leitender Angestellter sein, sie sind es, die den Charakter des Unternehmens ausmachen, und sie allein sind imstande, seine wirtschaftlichen Erfolge zu verbürgen. Aus diesem Grunde spielt auch heute noch in unserem unpersönlichen Zeitalter die Persönlichkeit des Unternehmers die entscheidende Rolle. Alles kommt auf sie an, und darum gibt es auf diesem Gebiete fast nichts, was so wichtig wäre wie staatsbürgerliche Erkenntnis und staatsbürgerlicher Wille des Unternehmers, sich und sein Unternehmen einzugliedern in die gesamte Volkswirtschaft, und bei allen seinen weittragenden wirtschaftlichen und sozialen Entschlüssen sich stets vor Augen zu halten, daß er wie die von ihm geleitete Unternehmung Teile eines großen Ganzen sind.

Das ist dem Unternehmer aber nur möglich, wenn dieselbe staatsbürgerliche Gesinnung bei seinen Gegenkontrahenten, den Arbeitnehmern, vorhanden ist und in entscheidenden Fällen auch zum Ausdruck gelangt, ihre Betätigung erhält. Wenn nicht beide Teile von diesem Standpunkte der Anerkennung notwendiger Rücksichtnahme ihr Verhalten korrigieren, ist ein Zusammenarbeiten ohne unnötige Reibungen unmöglich. Rückschauend wird man anerkennen müssen, daß diese soziale Gesinnung allerdings bei dem Kampf um den Arbeitsvertrag, bei dem Kampf um die Gleichberechtigung von Unternehmer und Arbeitnehmer, bei dem Klassenkampf bisher in weitem Umfange gefehlt hat.

Der Unternehmer ist der wirtschaftliche Leiter der Unternehmung. Seit drei Menschenaltern muß er zugleich, wenigstens in gewissem Sinne, ihr technischer Leiter sein. Er muß volles Verständnis für die Aufgaben und Möglichkeiten der Technik haben, soweit sie für seinen Betrieb in Frage kommen. Der Techniker ohne den Unternehmer ist nicht imstande, seine Gedankengänge in die Praxis des Lebens zu überführen. Der Unternehmer ohne genügende Rücksichtnahme auf die Erfolge der Technik bleibt hinter den Konkurrenten unrettbar zurück. Die enge Verbindung von Technik und Wirtschaft in der Unternehmung ist das Charakteristikum der modernen Unternehmung geworden, ganz einerlei, ob die wirtschaftliche Betätigung des Unternehmens auf technische Produktion direkt, auf Rohstoffgewinnung oder Weiterverarbeitung oder auf den Vertrieb, den Transport von Produkten gerichtet ist. So ist es gekommen, daß heute die Technik die Unternehmung sehr häufig führt, und daß der Technik von der Wirtschaft täglich neue Aufgaben gestellt werden, die in erstaunlichem Tempo seit Generationen von ihr bewältigt sind. So wird man heute dazu gelangen, im Unternehmer den Organisator technischen Fortschritts zu erblicken und ihm den Techniker nicht als ausführendes Organ, sondern als gleichwertigen Faktor an die Seite zu stellen.

2. DIE FORMEN DER TECHNISCHEN GROSZ-ORGANISATION

Die Formen der technischen Großorganisationen sind dreierlei Art. Sie umfassen die selbständigen Unternehmungen, die Kartelle, Syndikate und Trusts und die Interessenvertretungen in ihren verschiedenen Abwandlungen. In der historischen Entwicklung spielt die individuelle Firma, die Einzelfirma, der isolierte technische Betrieb in der Einzelunternehmung eine der größten Rollen. Auch die großen Unternehmungen von heute, die jetzt die Gesellschaftsform angenommen haben, entstammen zum größten Teil einer ursprünglich vorhandenen Einzelunternehmung. Die Einzelunternehmung selbst ist in ihrer historischen Herkunft durchaus nicht

immer von vornherein Unternehmung. Eine große Reihe der heute vorhandenen großen Einzelunternehmungen hat ihren Ursprung in handwerklichen Betrieben gehabt oder doch in Betrieben, in denen der Kapitalfaktor eine nur geringe Rolle in den ersten Anfängen gespielt hat.

Die Vorzüge der Einzelunternehmung liegen auf der Hand. Die Einheit von Kräften, Mitteln und Strebungen, zusammengefaßt von einem Unternehmerwillen, verleiht der Einzelunternehmung sowohl in ihren Anfängen wie in ihrer weiteren Entwicklung, wenn nur der richtige Unternehmerwille da ist, einen bedeutenden Vorsprung vor allen anderen Unternehmungsformen. Diese Einheit vermag sogar Mangel an Kapital, solange der Betrieb klein ist, in bedeutendem Umfange auszugleichen. Wo es möglich ist, die Einzelunternehmung auch bei Weiterausdehnung des Geschäfts beizubehalten, entspringt ihr regelmäßig eine im Verhältnis zu Gesellschaftsunternehmungen bedeutendere Stoßkraft und daraus resultierende Entwicklungsmöglichkeit. Aber allenthalben, wo die Einzelunternehmung auf zwei Augen gestellt ist, hat sie mit dem Tode oder dem Versagen des Unternehmers zu rechnen. Ihr fehlt, wenn nicht der Erbe des Unternehmens oder der Nachfolger im Unternehmen über dieselben Qualitäten wie der Gründer der Unternehmung verfügt, die natürliche Dauer über Leben und Sterben des einzelnen hinaus, das ist der Grund, weswegen gerade diejenigen Einzelunternehmungen, die zu besonderer Blüte und zu riesigem Umfange geführt sind, von den Gründern oder ihren Nachfolgern in eine Gesellschaftsform übergeleitet zu werden pflegen. Das Lebensinteresse des Unternehmers, der mit seiner Firma auf Gedeih und Verderb verbunden ist, gebietet ihm, wenn er nicht individuell einen gleichwertigen Nachfolger sich sichern kann, die Überführung des Unternehmens in die Form, die relativ ewige Dauer garantieren kann, in die Gesellschaftsunternehmung.

Auch in ihr kann das Charakteristikum der Einzelunternehmung, das Walten einer oder mehrerer in sich geschlossener Führerpersönlichkeiten, erreicht werden. Natürlich nicht so frei und nicht so ohne gesetzliche und organisatorisch bedingte Hemmungen wie bei der Einzelunternehmung. Aber auch in ihnen ist es möglich, durch Gesellschaftsvertrag und zielbewußte Organisation trotz des Bestehens hemmender Formen die leitenden Persönlichkeiten frei genug zu stellen, um für die Unternehmung die Selbständigkeit des Unternehmerwillens zu sichern, die für das Gedeihen einer großen Unternehmung erforderlich ist.

Es ist oft die müßige Frage aufgeworfen, ob die heutige Zeit, in der eine gesellschaftliche und genossenschaftliche Unternehmung nach der anderen dem reichen Boden entsprießt, noch Raum sei für den Einzelunternehmer. Wirtschaftsgeschichtliche Betrachtung läßt einen Zweifel darüber nicht aufkommen. Gewiß ist es heute für den Einzelunternehmer schwer, gegenüber den Kapitalassoziationen sich den genügenden Spielraum zu sichern, aber immer wieder zeigt es sich, daß der Pionier der Wirtschaft nicht die Assoziation von Kapital, sondern der Unternehmer selbst ist, der sich alsdann Raum genug verschafft, um sich im gegebenen Fall ohne Assoziation zu behelfen, im gegebenen Fall es aber versteht, eine neue Assoziation von Kapital und Arbeit selbst zu schaffen.

Auf industriellem Gebiet und für technische Großorganisation kommt die Form der Assoziation von Kapital und Arbeit auf genossenschaftlichem Wege bisher so gut wie gar nicht in Betracht. Für kleinere und mittlere Betriebe finden sich bedeutsame Ansätze zu genossenschaftlicher Organisation, für Großbetriebe haben diese Formen der Kapitalbeschaffung relativ wenig Bedeutung errungen. Die interessante-

sten Erscheinungen auf dem Gebiete sind diejenigen genossenschaftlichen Bildungen, die auf dem Wege der Einzelunternehmung mit der Tendenz erwachsen sind, durch genossenschaftliche Beteiligung der Mitarbeiter des Unternehmens nach dem Rücktritt oder unter Zurücktreten des ursprünglichen Unternehmers das begonnene Werk fortzuführen.

Produktivgenossenschaften haben bisher kaum zu irgendwelchen wesentlichen wirtschaftlichen Erfolgen geführt und kommen daher für die technische Großorganisation vorerst überhaupt nicht in Betracht.

Die Hauptform, in der sich die technische Großorganisation vollzogen hat, ist neben der Einzelunternehmung die gesellschaftliche, besonders die Aktiengesellschaft. Es ist wichtig und hervorzuheben, daß sie wie alle Erwerbsgesellschaften nicht spezifisch technisch-industriellen Charakter trägt, sondern wie alle Gesellschaften des Handelsrechts im Anschluß an den Handel entstanden, juristisch konstruiert und praktisch ausgebildet ist. Alle Formen der Erwerbsgesellschaften gehen von den Beziehungen des Handels aus und können trotzdem ohne weiteres für technische Betriebe verwendet werden, da ein technisch-industrielles Unternehmen ohne Absatzorganisation, also ohne Beziehung zum Markt, zum Handel an sich undenkbar ist. Jedes industrielle Unternehmen mit technischer Produktion muß zu gleicher Zeit Handelsunternehmen sein, ganz einerlei, ob es als normale selbständige Unternehmung seine Handelsbeziehungen, die Organisation seines Absatzes von sich aus durchführt, oder ob es durch Anschluß an Kartelle und Syndikate, Interessengemeinschaften und ähnlichen Organisationen einen Teil dieser Handelsqualität an andere Organe abgibt. Die Form der industriellen Erwerbsgesellschaft entnimmt das wirtschaftliche Leben dem Handel.

Wir haben daher im folgenden die verschiedenen Formen der Erwerbsgesellschaften im einzelnen darzulegen.

Um was handelt es sich eigentlich bei der Tätigkeit sämtlicher Erwerbsgesellschaften, welche Zwecke verfolgen sie und mit welchen Mitteln arbeiten sie? Die Faktoren des wirtschaftlichen Lebens, Natur, Kapital und Arbeit, soweit sie sich nicht in der Hand einer Person von vornherein vereinigt finden, sollen für wirtschaftliche Zwecke, für Zwecke des Erwerbslebens miteinander durch einen Unternehmerwillen vereinigt werden, um durch diese Vereinigung größere wirtschaftliche Resultate zu erzielen. Der Zweck ist der, der Produktion, mag sie nun Betrieb des Handelsgewerbes speziell oder Betrieb eines industriellen Unternehmens sein, in neuen Formen wirtschaftliche Produktionsmittel zur Verfügung zu stellen, die dem Individuum als solchem nicht ohne weiteres zugänglich sind. Solche Gesichtspunkte können natürlich erst in einer ausgebildeten Geldwirtschaft und Verkehrswirtschaft Raum zu weiterer Betätigung finden. Wenn nun auch Unternehmerwille, Natur, Arbeit und Kapital von vornherein die theoretisch gleichberechtigten Faktoren sind, deren Vereinigung ein gesellschaftliches Vertragswesen ermöglicht, so ist die Stellung der beiden Faktoren Arbeit und Kapital in der Konstruktion der Erwerbsgesellschaften, und zwar sowohl in der juristischen wie in der wirtschaftlichen Konstruktion, doch von ganz verschiedener Bedeutung. Bei den älteren Gesellschaften überwiegt bei regelmäßig vorhandenem Unternehmerwillen die Arbeit durchaus die Beteiligung des Kapitals. In dem weiteren Fortschreiten der wirtschaftlichen Entwicklung dringt das Kapital immer mehr vor, es gewinnt auch innerhalb der Formen an Bedeutung. So kommt es, daß, wenn wir heute allgemein die sämtlichen Erwerbsgesellschaften in zwei große Gruppen einteilen, in die Gruppe der Personalgesellschaften und der Kapital-

gesellschaften, wir konstatieren müssen, daß die Tätigkeit der Kapitalgesellschaften quantitativ wie qualitativ durchaus im Vordringen begriffen ist. Der grundsätzliche Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen liegt darin, daß die Personalhandelsgesellschaften im wesentlichen darauf aufgebaut sind, die individuelle Produktionskraft der einzelnen und das diesen wenigen Personen selbst gehörende individuelle Kapital zu gesellschaftlichen Unternehmungen zusammenzuschließen. Bei ihnen liegt in der Form mehr oder weniger unbeschränkter Haftung ein bedeutsames, verschieden großes Risiko auf den einzelnen Personen. Gerade im Gegensatz dazu ist bei den Kapitalgesellschaften nicht die Personalbeteiligung einzelner ausschlaggebend, sondern vielmehr die unpersönliche Beteiligung in der Summe großer, sich aus vielen einzelnen Quellen zusammensetzender Kapitalien bei einer Beschränkung des Risikos des einzelnen auf den Betrag seiner Aktie, die zugleich einen leichten Wechsel der Mitgliedschaft ermöglicht, wie er bei den Personalgesellschaften mehr oder weniger unzulässig ist. Es kommt hinzu, daß, während die Personalgesellschaften mit Stimmeneinheit ihre Beschlüsse fassen und die einzelnen Gesellschafter selbst die Geschäfte ihres Betriebes führen, bei den Kapitalgesellschaften an die Stelle der Stimmeneinheit die Mehrheit für das Zustandekommen von Beschlüssen und im Grundsatz an die Stelle der Geschäftsführung durch Gesellschafter die Geschäftsführung durch Angestellte tritt. Die Extreme sind auf der einen Seite die offene Handelsgesellschaft, der Typus der Personalgesellschaft, auf der anderen Seite die Aktiengesellschaft als Typus der reinen Kapitalgesellschaft.

Allen Formen der Vergesellschaftung gemeinsam ist die Vereinigung einer Anzahl Personen und Kapitalien unter einer Firmeneinheit zum Betriebe eines Handelsgewerbes. Dabei ist hervorzuheben, daß eine derartig gemeinsame Definition nur unter dem Zwange der juristischen Konstruktion des HGB möglich ist, denn es kann keinem Zweifel unterliegen, daß Bergwerksgesellschaften, industrielle Gesellschaften, Aktiengesellschaften, bei denen der Betrieb einer Zuckerfabrik mit Nebenleistung der Aktionäre als Rübenbauer Zweck der Gesellschaft ist, ganz verschiedene wirtschaftliche Körper sind, daß sie logisch an sich keine Handelsgesellschaften sind; das Gesetz fingiert eben nur, daß alle solche Gesellschaften, wenn sie in der Form der Aktiengesellschaft auftreten, unter allen Umständen als Handelsgesellschaften zu betrachten sind. Der Grund dafür ist, daß die kommerzielle Organisation aller dieser Betriebe in der Form der Aktiengesellschaft sie derart an die sonstigen Handelsgesellschaften annähert, daß eine Scheidung zwischen industriellen Aktiengesellschaften und Aktiengesellschaften zum Betriebe des reinen Handelsgewerbes zu unmöglichen Konsequenzen führen würde.

DIE PERSONALGESELLSCHAFTEN. a) Die offene Handelsgesellschaft. Die offene Handelsgesellschaft war der Typus der Handelsgesellschaft des 18. Jahrhunderts, sie war kodifiziert zum erstenmal durch den code de commerce als Societé en nom collectif. Die offene Handelsgesellschaft ist eine Firmengesellschaft zum Betriebe eines Handelsgewerbes mit unbeschränkter Haftung aller Gesellschafter für die Gesellschaftsschulden. Träger der Firma sind die Gesellschafter, nicht etwa einer der Gesellschafter; gleichgültig ist dabei, ob jeder Gesellschafter eine Kapitaleinzahlung geleistet hat oder etwa einzelne nicht. Der Gesellschaftsvertrag kann bestimmen, daß ein Unterschied gemacht wird zwischen Geschäftsführenden und Nichtgeschäftsführenden und weiter ein zweiter zwischen nach außen die Gesellschaft vertretenden und sie nicht vertretenden Gesellschaftern. Die Eintragung einer Firma ins Handelsregister ist notwendig. Nicht aber bedarf der Inhalt

des Gesellschaftsvertrags, der an keine Formen gebunden ist, der Eintragung, geschweige denn der Veröffentlichung. Das Recht der offenen Handelsgesellschaft ist im HGB nur dispositiv geregelt, im allgemeinen gilt für die Rechtsverhältnisse der offenen Handelsgesellschaften das Recht des BGB.

Es gibt aber drei verschiedene Bestimmungen, die die offene Handelsgesellschaft trotz dieser Vorschrift grundsätzlich von der Gesellschaft des bürgerlichen Rechts trennen: 1) die unbeschränkbare Haftung jedes Gesellschafters für sämtliche Gesellschaftsschulden; 2) die Notwendigkeit einer einheitlichen, an den Namen eines Gesellschafters anknüpfenden Gesellschaftsfirma und 3) die über die Vorschriften des BGB hinausgehende Verselbständigung des Gesellschaftsvermögens. Diese geht aber, und darin liegt der grundsätzliche wirtschaftliche Unterschied von der Aktiengesellschaft, nicht so weit wie bei jener. Die Gesellschafter sind nicht wie bei der Aktiengesellschaft gezwungen, für immer das Gesellschaftskapital unvermindert zu erhalten, sondern dessen Verminderung hat keine bestimmte rechtliche Folgen für die Geschäftsführung, soweit nicht sein Verlust zum Konkurs führt. Jede Handelsgesellschaft, die nicht ein anderes Gewand annimmt, ist als offene Handelsgesellschaft anzusehen; die offene Handelsgesellschaft ist also nach dem Willen des Gesetzgebers die normale Form der Handelsgesellschaft. In der Tat besteht auch wohl die größte Zahl der vorhandenen Gesellschaftsbetriebe aus offenen Handelsgesellschaften. Anders liegt es allerdings mit der wirtschaftlichen Bedeutung dieser Betriebe, gerade die größten Betriebe sind nicht offene Handelsgesellschaften, sondern Aktiengesellschaften oder G. m. b H.

Welchen Zwecken dient nun die offene Handelsgesellschaft? Wir sahen vorhin, daß der Zweck aller Handelsgesellschaften die Zusammenschweißung von Unternehmerwille mit den Produktionsfaktoren Natur, Kapital und Arbeit sei. Der spezifische Zweck der Form der offenen Handelsgesellschaft ist der, eine Vergrößerung des Geschäftskapitals und eine Vermehrung der gesellschaftlich beteiligten Arbeitskräfte über das Maß hinaus herbeizuführen, das einem Individuum möglich ist. Der Effekt ist dabei in der Regel eine mehr oder minder durchgeführte Arbeitsteilung der einzelnen Gesellschafter.

Diese Form wird regelmäßig dort gewählt, wo z. B. zur kaufmännischen Durchführung eines technischen Problems — etwa zur Ausbeutung eines Patents — sich Techniker und Kapitalist zusammenfinden; in diesem Falle tritt die natürliche Arbeitsteilung zwischen den beiden nach Maßgabe ihres Berufs ein. Die Arbeitsvereinigung erfolgt durch Zusammenziehen von geistigem und materiellem Kapital, während Unternehmerwille und Arbeitsbeteiligung auf beiden Seiten vorhanden sind. Der zweite Fall, in dem diese Form ihre besondere Nützlichkeit erweisen kann, ist der, wenn der Geschäftsbetrieb eine verschiedene Betätigung an verschiedenen Orten, z. B. in Fabrik, Kontor, auf der Reise, erfordert, wenn das Geschäft eine Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen erfordert, wozu besonders die Durchführung kaufmännischer Geschäfte im Ausland durch inländische Firmen gehört. Es ist natürlich zur Durchführung einer derartigen Gesellschaftsform die erste und unumgängliche Bedingung, daß die einzelnen Partner absolutes Vertrauen zueinander haben, denn die gesetzliche Bestimmung, daß, soweit nicht der Gesellschaftsvertrag etwas anderes bestimmt, Beschlüsse der Gesellschaft trotz der Vertretungsbefugnis jedes einzelnen Gesellschafters mit Einstimmigkeit gefaßt werden müssen, bringt es zuwege, daß die Obstruktion eines einzelnen Geschäftsteilhabers die Tätigkeit der anderen mehr oder minder hindern oder lahmlegen, mindestens aber verzögern

muß. Es kommt hinzu, daß die selbständige Vertretungsbefugnis jedes einzelnen Gesellschafters bei Untreue eines Gesellschafters die übrigen in die bedenklichste Lage bringen könnte. Aber diesen Fährlichkeiten der Gesellschaftsform stehen so überwiegende Vorteile gegenüber, daß man wohl verstehen kann, daß sich gerade diese Gesellschaftsform so allgemein eingebürgert hat. Sie bietet die Möglichkeit sehr bedeutender Erweiterung des Betriebes schon durch die Aufnahme neuer Teilhaber, die allerdings an die Zustimmung sämtlicher vorhandenen geknüpft ist. Es besteht bei dieser Form die Möglichkeit, durch Gewährung von bestimmten, anfangs vielleicht relativ kleinen Gesellschaftsanteilen die heranwachsenden Söhne, bewährte Angestellte, ältere Prokuristen am Geschäft als Teilhaber zu beteiligen, solche Partner also mit der Gewährung einer geringen Gewinnquote, dagegen durch Auferlegung unbeschränkter Haftung mit ihrer ganzen Arbeitsfähigkeit für einen Betrieb heranzuziehen und an ihn zu fesseln. Es hat sich denn diese Form ganz allgemein als, ich möchte sagen, die vornehmste Form der Vergesellschaftung herausgebildet. Mit Vorliebe werden Juniorpartner in offene Handelsgesellschaften aufgenommen; eine ganz besondere Erleichterung gewährt die Institution der offenen Handelsgesellschaften auf diesem Wege der Selbständigmachung jüngerer im Erwerbsleben stehender Personen; es ist leichter, für einen in guter Situation befindlichen Kaufmann auf dem Wege der Beteiligung eines Sohnes oder älteren Prokuristen als Juniorpartner das Geschäft allmählich aus der Hand zu geben, ohne dem Weiterarbeiten des einmal eingelegten rentierenden Kapitals Schranken zu setzen, als etwa durch Herausziehen von Kapital aus dem alten Geschäft solchen Personen die selbständige Etablierung in oder neben dem alten geschwächten Geschäft möglich zu machen. Hinzukommt, daß auf diesem Wege die Entstehung neuer Konkurrenzgeschäfte auf demselben Gebiete verhindert oder wenigstens unnötig gemacht wird. Eine solche Behandlung von offenen Handelsgesellschaften kann diesen natürlich lange Dauer sichern; sie kann in weitgehendem Maße das Weiterbestehen alter Firmen innerhalb desselben Interessentenkreises sichern. Die leichte Auflösbarkeit der offenen Handelsgesellschaft bietet aber auch so viele Möglichkeiten, einen verunglückten Versuch auf diesem Gebiete rechtzeitig zu redressieren, daß diese Form auch nach dieser Richtung hin ihre großen Vorzüge besitzt. Fast die sämtlichen großen hanseatischen überseeischen Exportgeschäfte sind auf dieser Basis aufgebaut.

Hervorzuheben ist weiter die Möglichkeit der leichten Umwandlung einer offenen Handelsgesellschaft in eine Kommanditgesellschaft, die besonders bei der eben dargelegten Methode der Beteiligung jüngerer Partner regelmäßig auf die leichteste Weise die Herausziehung der Kapitalien älterer Teilhaber oder wenigstens die Beschränkung der Haftung dieser Kapitalien für die älteren und nicht mehr so tätig im Geschäft arbeitenden Teilhaber eines Geschäfts sichert. Besonders in dem Fall, wenn das große Vertrauen, das zur Durchführung einer offenen Handelsgesellschaft zwischen den Gesellschaftern bestehen muß, auf irgendeinem Wege geschwächt ist, dürfte die Umwandlung einer offenen Handelsgesellschaft in eine Kommanditgesellschaft den geeignetsten Weg darbieten, um die Kapitalien, die in gewisser Beziehung gefährdet scheinen, mindestens zu einem Teil rechtzeitig aus dem Geschäft zu entfernen. Der Übergang ist dadurch ganz besonders erleichtert, daß bei Umwandlung einer offenen Handelsgesellschaft in eine Kommanditgesellschaft nicht eine Neugründung nötig ist, sondern das Gesetz ein einfaches Übergehen aus einer Form in die andere durch Vertrag vorsieht. Das Gesetz betrachtet solche Umwandlung nicht als Auflösung, sondern nur als eine vertragsmäßige Abänderung der Verfassung. Eine ganz spezielle

Wichtigkeit besitzt natürlich diese Möglichkeit bei Erbauseinandersetzungen, da auf diese Weise große Kapitalien, ohne sie dem Betriebe des Geschäfts zu entziehen, sichergestellt werden können.

b) Die Kommanditgesellschaft. Die Kommanditgesellschaft ist eine Gesellschaft, deren Zweck auf den Betrieb eines Handelsgewerbes unter gemeinschaftlicher Firma gerichtet ist, mit der Maßgabe, daß bei einem oder bei einigen der Gesellschafter die Haftung gegenüber den Gesellschaftsgläubigern auf den Betrag einer bestimmten Vermögenseinlage beschränkt ist (Kommanditisten), während bei den anderen Teilhabern der Gesellschaft eine Beschränkung der Haftung nicht stattfindet (persönlich haftende Gesellschafter). Es gibt also bei der Kommanditgesellschaft zwei Gruppen von Gesellschaftern, die persönlich haftenden, die sogenannten Geranten oder Komplementäre, und die nur mit dem Betrage ihrer Einlage haftenden, die sogenannten Kommanditisten. Im wesentlichen ist also die Haftung dieser beiden Gruppen verschieden geregelt; während die Kommanditisten nur für ihre Einlage haften, haftet der Komplementär solidarisch mit seinem ganzen Vermögen neben der Gesellschaft. Es ist hier von vornherein einem sehr weit verbreiteten Irrtum entgegenzutreten, nämlich der Verwechslung der Haftsumme mit der Einlagesumme. Haftsumme und Einlage sind bei der Kommanditgesellschaft nicht dasselbe. Wenn die Haftsumme eines Kommanditisten z. B. auf den Betrag von 10000 Mark beschränkt ist, und diese Haftsumme als Einlage in das Handelsregister eingetragen ist, so kann daneben noch eine Einlagesumme von unbegrenzter Höhe vorliegen; es ist eben etwas anderes um die Haftung des Kommanditisten nach außen und um seine Beteiligung an der Kommanditgesellschaft durch seine Einlage nach innen. Infolgedessen kann der Kredit der Kommanditgesellschaft trotz der Eintragung ins Handelsregister sehr viel besser sein, als sich aus einer Betrachtung der handelsregisterlichen Eintragung ergeben würde.

Die Kommanditgesellschaft bedarf zu ihrer Entstehung der Anmeldung zum Handelsregister. Es spricht sich darin die Rücksicht des Gesetzgebers auf die Bedürfnisse der Gläubiger aus. Relative Publizität ist eben ein Charakteristikum der Kommanditgesellschaft. Die Anmeldung zum Handelsregister hat außer den auch für die offene Handelsgesellschaft vorgeschriebenen Angaben auch die der Kommanditisten und den Betrag der Einlage eines jeden von ihnen zu enthalten.

Abweichend von den Bestimmungen über die Eintragung der Kommanditgesellschaft sind Bestimmungen erlassen über die Veröffentlichung dieser Eintragung. Diese Eintragung wird nicht im Wortlaut von seiten des Handelsregisters veröffentlicht, sondern nur die Angabe der Firma, die Zahl der Kommanditisten, nicht aber der Name, der Stand und der Wohnort der Kommanditisten sowie der Betrag ihrer Einlage. Es bedarf also mindestens, um sich über die Kreditfähigkeit einer Kommanditgesellschaft zu unterrichten, der direkten Einsicht des Handelsregisters, und es genügt nicht etwa die Beschränkung auf Kenntnisnahme des Handelsregisterauszuges, wie er in den amtlichen Blättern veröffentlicht wird. Ein grundsätzlicher Unterschied von der offenen Handelsgesellschaft liegt bei der Kommanditgesellschaft darin, daß die Kommanditisten von der Geschäftsführung direkt ausgeschlossen sind, es sei denn, daß ihnen spezielle Prokura oder der Auftrag zu allgemeiner Geschäftsführung erteilt worden ist. Ein Konkurrenzverbot, wie es für die Teilhaber einer offenen Handelsgesellschaft besteht, gibt es für die Kommanditisten einer Kommanditgesellschaft nicht, dagegen besteht ein Konkurrenzverbot für die Geranten, die Komplementäre einer Kommanditgesellschaft. Die Rechte des Kommanditisten gegenüber seiner Gesellschaft beschränken sich 1) auf das Recht des Einspruchs bei Handlungen des Kom-

plementärs, die über den gewöhnlichen Betrieb des Handelsgewerbes hinausgehen; 2) auf die Berechtigung, abschriftliche Mitteilung der jährlichen Bilanz zu verlangen und deren Richtigkeit auf Grund der Papiere und Bücher zu prüfen.

c) Die stille Gesellschaft. Ganz ähnlichen Zwecken wie die Kommanditgesellschaft, nämlich der Beschränkung der Haftung auf eine bestimmte Summe, dient die stille Gesellschaft. Sie hat ihre Regelung im HGB § 335—342 gefunden, trotzdem z. B. die Denkschrift sie nicht mehr als Handelsgesellschaft anerkennt. Sie hat mit der Kommanditgesellschaft den Zweck gemein, beschränkt und unbeschränkt beteiligte Gesellschafter zu vereinigen. Die Denkschrift zum neuen HGB sagt darin prinzipiell folgendes: Während die Kommanditgesellschaft als solche auch nach außen heraustritt, eine eigene Firma führt und ein selbständiges Geschäftsvermögen besitzt, geht die stille Gesellschaft in dem Vertragsverhältnis zwischen dem stillen Gesellschafter und dem Inhaber des Handelsgeschäfts auf. Die Einlage eines stillen Gesellschafters im Handelsgewerbe eines anderen geht nicht etwa in ein Gesellschaftsvermögen über, sondern geht direkt in das Eigentum des Geschäftsinhabers über; allein der Inhaber des Geschäfts wird zu dem im Vertrage abgeschlossenen Geschäft berechtigt und verpflichtet, er allein haftet. Eine Eintragung des stillen Gesellschafters in das Handelsregister erfolgt nicht. Nach außen hin verschwindet der stille Gesellschafter überhaupt, sobald er aber nach außen hin irgendwie auftritt, verliert er seine Position als stiller Gesellschafter und haftet mit demselben Moment als offener Gesellschafter. Man kann daher wirklich die Frage aufwerfen, ob überhaupt hier von einer Gesellschaft die Rede sein kann; ein Gesellschaftsvermögen existiert nicht, eine Gesellschaftsfirma existiert nicht, es ist sogar nach § 336 möglich, die Beteiligung des stillen Teilhabers auf den Gewinn des Geschäfts zu beschränken und den Anteil am Verlust auszuschließen. Der Verlust des stillen Gesellschafters beschränkt sich mangels einer speziellen Abmachung auf alle Fälle nach § 337 auf die Höhe seiner Einlage. Es kann also höchst zweifelhaft sein, ob man nicht in diesem Falle von der Überlassung eines unter bestimmten Formen geregelten Darlehns zum Behuf des Betriebes von Handelsgeschäften sprechen sollte.

Die stille Gesellschaft wird speziell für die Unterbringung von Familienbeteiligungen verwendet. Da ihr Unterschied von der Kommanditgesellschaft wesentlich darin begründet ist, daß sie den Einlegern noch geringere Rechte zubilligt als die Kommanditgesellschaft den Kommanditisten, verlangt ihre Anwendung ein noch weitaus größeres Maß von Vertrauen als alle anderen Formen der Vergesellschaftung.

Schon bei der offenen Handelsgesellschaft war die Vertrauensfrage die dominierende Frage für das Zustandekommen der Gesellschaft; noch weit mehr ist das bei der stillen Gesellschaft der Fall. Es kommt noch hinzu, daß die Rechte des stillen Gesellschafters gegenüber dem Gesellschafter noch beschränkter sind als die des Kommanditisten gegenüber dem Komplementär: nicht einmal das Recht der Einsicht in die Bücher besitzt der stille Gesellschafter, sondern er muß sich mit dem begnügen, was ihm mitgeteilt wird, es kann sich also nur um ganz nahestehende Personen handeln, und in der Regel kommt die stille Gesellschaft auch nur vor unter Familienangehörigen. Aus dieser Familiengemeinschaft ist die Sache entstanden, und in diesem Kreise hat sich die stille Gesellschaft weiterentwickelt.

DIE KAPITALGESELLSCHAFTEN. Die Aktiengesellschaft. Auch die Aktiengesellschaft hat ihre Regelung im HGB gefunden. Trotzdem hat das HGB merkwürdigerweise keine eigentliche Definition der Aktiengesellschaft gegeben. Nach Lehmann ist die Aktiengesellschaft eine unter eigenem Namen auftretende Ver-

einigung mit einem in Anteile zerlegten und in einer Geldziffer ausgedrückten Kapital und mit auf den Betrag der Anteile beschränkter Beitragspflicht der Mitglieder. Sie ist insofern eine Personenvereinigung, genau wie alle anderen Gesellschaften, sie bedarf der eigenen Firma. Die Aktiengesellschaft ist Formkaufmann, steht also unter den sämtlichen Beschränkungen des Handelsrechts, sie muß ein Grundkapital haben, und dieses Grundkapital muß ziffernmäßig ausgedrückt sein. Dieser Fonds muß aufgebracht werden durch Aktionäre, er wird also radiziert auf Anteile, auf Aktien in festem Nennbetrag, nicht etwa in variablem Nennbetrag. Die festen Anteile heißen in Deutschland Aktien, in England nennt man sie shares. Die Haftung ist bei den Aktionären beschränkt auf den Betrag ihrer Aktie, und das ist es, was die Aktiengesellschaft von allen anderen unterscheidet, es fehlt bei ihr jede Haftung des Aktionärs nach außen; der Gläubiger hat mit dem Aktionär als solchem gar nichts zu tun, den Gläubiger geht es gar nichts an, wer Aktionär ist, und ebensowenig hat der Aktionär mit dem Gläubiger zu tun. Die Aktie hat dreifache Bedeutung. Die Aktie ist erstens der Bruchteil des Grundkapitals. Das Grundkapital ist zusammengesetzt aus dem festen Nennbetrag vieler Aktien; jede Aktie begründet ein Recht, ein Anteilsrecht auf das Gesellschaftsvermögen; in Betracht kommen §§ 214 und 300 des HGB. Wie groß ist nun aber dieses Recht? Es umfaßt den dem Nominalbetrag der Aktie entsprechenden Anteil an dem gesamten Gesellschaftsvermögen.

Das bei der Gründung einer Aktiengesellschaft vorhandene sogenannte Nominalkapital und das wirkliche Gesellschaftsvermögen brauchen nicht übereinzustimmen; regelmäßig ist das Gesellschaftsvermögen höher als das Nominalkapital, niedriger sein darf es grundsätzlich nicht. Trotzdem kommt auch das vor. Es gibt aber einen Ausdruck, der es ermöglicht, den Wert dieses Anteilsrechts an dem Vermögen der Aktiengesellschaft momentan ziffernmäßig festzustellen: es ist der Börsenkurs. Der Börsenkurs ist der theoretisch richtige Ausdruck für den inneren Wert der Aktie.

Die Aktie wurde in Deutschland früher ganz allgemein entsprechend dem wirtschaftlichen Wesen der Aktiengesellschaft regelmäßig so niedrig wie irgend möglich gestellt. Seit 1884, seit der zweiten Aktiennovelle von 1884 haben wir aber in Deutschland nur die Möglichkeit, Tausendmarkaktien auszugeben; man kann ebensogut Aktien auch zu 10000 Mark ausgeben, aber nicht unter 1000 Mark. Im Gesetz sind nur zwei Ausnahmen vorgesehen, für staatliche Gründungen und für solche, bei denen jede Aktie von vornherein auf den Namen lautet, also nicht Inhaberaktie ist, und zu gleicher Zeit die Veräußerung an die vollkommen freie Zustimmung der Verwaltung geknüpft ist. Es handelt sich um Aktien, bei denen von vornherein ein wirklicher Markt, besonders die Börse für die Veräußerung der Aktie nicht in Betracht kommen soll, wo es sich also von vornherein nur um die Herbeiziehung eines ganz bestimmten Personenkreises zu einem ganz bestimmten Zweck handelt. In England gibt es überhaupt keinen bestimmten Betrag der Aktie, die Regel ist aber dort die Pfundaktie. Es gibt aber eine große Reihe von Gesellschaften, die nur 100-Pfundaktien ausstellen.

Aktiengesellschaften werden im allgemeinen heute da gegründet, wo es erforderlich ist, für ein Geschäft, dessen Durchführung die Kräfte eines einzelnen übersteigt, Kapital zusammenzubringen. Die zweite und häufigere Verwendung der A.-G. ist die, einen Betrieb, der zu groß geworden ist, als daß er von einer einzigen Person geleitet werden könnte, oder der so groß geworden ist, daß das Risiko des Betriebes zu groß ist für die Kraft eines einzelnen, in die Gesellschaftsform umzuwandeln. Wir hatten oben gesehen, es existiert eine Möglichkeit der Umwandlung, die häufig vor-

gekommen ist, nämlich die Kommanditgesellschaft aus der offenen Handelsgesellschaft entstehen zu lassen. Das Wichtigste bei diesen Umwandlungen ist regelmäßig das, daß man nicht in der Lage gewesen ist, irgendwelche einzelne Großkapitalisten für eine Beteiligung an dem schon bestehenden Werk zu interessieren, sondern daß man sich gezwungen sieht, an den offenen Kapitalmarkt zu appellieren.

Der Aktiengesellschaft steht, um Aktionäre heranzuziehen, die ganze Welt offen. Für die Gesellschaft kommt ja nur die Einlage des Aktionärs in Betracht, diese Einlage trennt sich von ihm vollkommen in dem Moment, wo sie gezahlt ist, sie tritt in das Aktienvermögen der Gesellschaft ein.

Als ersten Grund für die leichte Zeichnung von Aktien muß man anführen, daß Aktien wegen der Unbestimmtheit ihrer Gewinne, wegen ihrer Hoffnungschance, häufig lieber genommen werden als Papiere oder Werte, die eine absolut feste Verzinsung an sich gewährleisten.

In der Zeit der großen Konvertierung der Staatspapiere ist in Deutschland eine enorme Ausbreitung des Aktienwesens erfolgt, weil man sich sagte, die Aktien gewährleisten zwar nicht eine Minimalverzinsung, aber die Hoffnung auf höhere als landesübliche Verzinsung ist es, was wir bei Aktiengesellschaften von vornherein voraussetzen. Es handelt sich um das Recht auf die Dividende. Ein zweiter Grund, der etwas tiefer liegt, ist der, daß wegen der Variabilität der Dividende für den Markt der Wert eines Aktienpapiers sehr variabel ist. Infolgedessen kann der Besitzer einer Aktie al pari oder einer, der am Markt eine Aktie, die schon einen höheren Kursstand erreicht hat, damit rechnen, bei aufsteigender Konjunktur und guter Ausbreitung des Unternehmens die Aktie mit einem Aufgeld, einem Agio, zu veräußern, was ja allerdings auch bei Staatspapieren möglich ist, aber dort in sehr viel geringerem Maße in Betracht kommt. Dann kommt bei der Aktie die leichte Übertragbarkeit hinzu: die Inhaberaktie geht von Hand zu Hand. Wenn man damit die Form vergleicht, die der Aktiengesellschaft am nächsten steht, die G. m. b. H., so sieht man, daß die leichte Übertragbarkeit des Anteils bei der G. m. b. H. ausgeschlossen ist, so daß gerade diese Tatsache eine unbedingt größere Chance der Aktie zeigt. Viel wichtiger ist aber bei Erwerbung von Aktien für den Kapitalisten die Möglichkeit, sein Risiko auf eine ganz besondere Art und Weise zu verteilen. Ein Kapitalist, der einen Betrag von 100000 Mark als stiller Gesellschafter oder als Komplementär in einer Kommanditgesellschaft festlegt, hat in diesen Fällen sein ganzes Glück auf eine Karte gesetzt. Rentiert das Unternehmen, so hat er einen wirtschaftlichen Vorteil; wenn aber dieses Unternehmen aus irgendwelchen Gründen, die vielleicht ganz außerhalb seiner Berechnung liegen, nicht geht, dann rentiert sein gesamtes angelegtes Kapital nicht. Es kommt weiter hinzu, daß für kein Wertpapier ein derartig offener und allen zugänglicher Markt existiert wie für Aktien. Sobald Aktien an der Börse zum Handel notiert sind, hat der betreffende Kapitalist ein ganz besonders fein empfindendes Organ, das für ihn öffentlich die Verhältnisse seiner Gesellschaft kontrolliert. Die Kursnotierung an der Börse gibt nun auch noch eine weitere Möglichkeit, Gewinne zu erzielen dadurch, daß an der Börse Spekulationen in Aktien an der Tagesordnung sind, es scheidet da nur die eine Gruppe von Aktien aus, bei denen alle Stücke in festen Händen sind.

Die Gründer von Aktiengesellschaften beabsichtigen regelmäßig, neben ihren Gründergewinn in einer besonderen Stellung zu der neu zu gründenden Aktiengesellschaft zu wirtschaften, nämlich als Gründerlieferanten; das trifft ganz besonders zu bei dem Verhältnis von Mutter- und Tochtergesellschaften. Es ist wenigstens die Regel, daß die Tochtergesellschaft in ihren sämtlichen Bezügen, soweit es nur technisch

denkbar ist, angewiesen werden auf den Bezug von der Muttergesellschaft. Darin liegen natürlich für die Gründer enorme Vorteile, mitunter liegt darin der Hauptgrund für die Gründung selbst. Für die Gründer, soweit sie Banken oder Bankiers sind, kommt noch ein anderes Moment in Betracht, das die Gründung empfiehlt: die Möglichkeit, durch Beteiligung an der Gründung durchzusetzen, daß diese sie als Bankverbindung sucht und behält, oder daß so die Abstoßung früher gewährten Kredits in die Wege geleitet wird.

Realisiert werden Gründergewinne meistens dadurch, daß die Gründer fast ohne Ausnahme in den Aufsichtsrat des neuen Unternehmens aufgenommen werden, die Gründer sind eben regelmäßig der erste Aufsichtsrat. Nach Ablauf des ersten Jahres muß allerdings ein neuer Aufsichtsrat gewählt werden, dann aber pflegt die Situation der Gründer eine so vollkommen gefestigte zu sein, daß von irgendwelcher Änderung im Aufsichtsrat gar keine Rede ist. Abänderungen dieser Zusammensetzung des Aufsichtsrats treten erst dann ein, wenn irgendwie sich die Parteien innerhalb der Gesellschaft verändern, oder wenn es nötig erscheint, andere Kreise von Kapitalisten heranzuziehen.

Man hat im allgemeinen den Satz aufgestellt, Aktiengesellschaften würden nur da gegründet, wo es sich darum handle, ein in festen Grenzen auftretendes Kapitalbedürfnis zu decken, nicht aber da, wo es sich darum handle, einen Betrieb zu finanzieren, dessen Bedürfnisse variieren. Es ist das eine vielumstrittene Frage. Die meisten Aktiengesellschaften rechnen mit einem ziemlich konstanten Kapital. Es gibt viele Hunderte von Aktiengesellschaften, die niemals dazu kommen, ihr Grundkapital zu verändern; aber gerade die bedeutendsten Aktiengesellschaften, die nicht prosperieren und als negative Faktoren sehr wichtig sind, wechseln sehr häufig ihr Aktienkapital. Bei steigenden Bedürfnissen könnte es scheinen, als ob die Aktiengesellschaftsform an sich nicht sehr praktisch wäre, sicher, solange eine neue Emission auf Schwierigkeiten stoßen würde. Und es kommt noch hinzu, daß Kapitalserhöhungen bei Aktiengesellschaften nicht immer im Augenblick des Betriebsbedürfnisses möglich sind. Bei vorübergehendem Kapitalsbedürfnis ist es überhaupt nicht möglich, ein Aktienkapital zu erhöhen, sondern es wird auf irgendeinem andern Wege Abhilfe zu suchen sein. Der ganze Apparat kann nur in Bewegung gesetzt werden, wenn es sich um bedeutende Summen und dauernde Investitionen handelt. Solche Schwierigkeiten überwindet die Aktiengesellschaft aber sehr leicht, da der Kredit der Aktiengesellschaft an sich ein ganz bedeutend größerer zu sein pflegt als der jedes noch so guten Einzelunternehmens, und zwar deswegen, weil es sich bei der Aktiengesellschaft um ein der öffentlichen Kritik ausgesetztes Unternehmen handelt.

Die Aktiengesellschaft erhält leichter und billiger Bankkredit als Einzelunternehmer. Bei solchem regelmäßig ansteigenden Bedarf werden steigende Bankkredite benutzt bis zu dem Moment, wo diese Kredite durch ihre Höhe so kostspielig oder für den Kreditgeber so lästig geworden sind, daß die einmalige Emission von jungen Aktien richtiger erscheint; natürlich wird für diesen Moment die ganze Börsenlage in Betracht gezogen, um den Zeitpunkt zu bestimmen, an dem die neue Emission vorgenommen werden soll.

Anders liegt die Sache bei den Betrieben, die mit einem allmählich sinkenden Bedarf zu tun haben; wir können da zwei Gruppen unterscheiden: einmal solche, die mit einem Kapital gegründet worden sind, das höher bemessen ist als ihr eigentlicher Bedarf bei richtigerer Überlegung gewesen wäre; bei ihnen wird sich ganz regelmäßig herausstellen, daß das Aktienkapital eben zu groß angenommen ist für

den Betrieb, da die Dividenden zu klein blieben, oder es treten Kapitalverluste bei Betrieben ein, die Folge ist die Amortisation von Aktien.

Solange die Aktiengesellschaft ein wirtschaftliches Bedürfnis befriedigt, kann man eigentlich von der ewigen Dauer der Aktiengesellschaft sprechen; sie ist unabhängig von den Wechselfällen durch Tod oder Geburt. Die Hauptvorteile der Aktiengesellschaften liegen in der Publizität. Diese Publizität unterscheidet die Aktiengesellschaft auf das allerschärfste von der Kapitalsassoziation bei der sogenannten G. m. b. H.; denn was die Aktiengesellschaft so vollständig heraushebt aus dem Gros der anderen Kapitalsgesellschaften, das ist, daß eben die Publizität so gut wie gar nicht umgangen werden kann. Bei der G. m. b. H. ist die Publizität der Bilanz gar nicht vorgeschrieben, außer bei den Bankgeschäften; alle anderen reinen G. m. b. H. brauchen keine Veröffentlichung ihrer Bilanz. Infolgedessen ist es für das Publikum, das beteiligt ist, sehr schwer, einen Einblick in die Geschäftsführung zu tun. Es ist aber auch für Gläubiger sehr schwer, einen Überblick zu erhalten. Das Bestreben, dieses Moment zu beseitigen, diese Publizität der A.-G. zu verhindern, hat allerdings zu Erscheinungen geführt, die bedenklich sind. Es ist im Gesetz bestimmt, um Überrumpelungen der Minorität bei der Generalversammlung zu verhindern, daß die Gegenstände, über die in der Generalversammlung beschlossen werden soll, vorher in der Tagesordnung bekanntgegeben werden müssen. Diese Bestimmungen sollen verhindern, daß etwa aus Unkenntnis ein Teil der Aktionäre überhaupt nicht erscheint; diese Publizität ist, wenn man heute die Ankündigungen der Tagesordnung der Aktiengesellschaften ansieht, im allgemeinen gleich Null. Wenn z. B. über die „Abänderung der Befugnis des Aufsichtsrats" oder über die „Ausdehnung der Tätigkeit der Gesellschaft auf die und die Betriebe" verhandelt werden soll, so steht das kaum je auf der Tagesordnung, sondern es steht nur da: „Abänderung der Satzung". Jeder kann sich dabei denken, was er will. Eine weitere Methode, die Publizität zu verhindern, ist die, daß man den verschiedenen Konten der Bilanz in aufeinander folgenden Jahren verschiedenen Inhalt gibt, sie ganz verschieden konstruiert. Jede Möglichkeit wirklicher Bilanzkritik ist damit verloren.

Eine weitere Methode ist die, daß man Konten, deren Kritik erst in dem Moment beginnen kann, in dem sie auseinandergelegt sind, nicht zerlegt.

Die Aktiengesellschaft hat infolge ihrer Publizität enormen Kredit. Sie kann infolgedessen etwas tun, was sonst nur die größten Einzelunternehmen tun können: sie kann sich Geldmittel beschaffen durch Ausgabe von fest verzinslichen Obligationsanleihen, sogar unkündbaren; sie kann so weit gehen wie ein Staat, sie kann noch weitere Kreise als ihre Aktionäre heranziehen zur Hergabe von Mitteln für sie, indem sie ihnen nur verspricht, auf Grund ihres Betriebes eine fest verzinsliche Obligation, die einen Markt hat, zu verzinsen. Voraussetzung ist im allgemeinen, daß ihre Aktien an der Börse ohne weiteres unterzubringen sind, denn die erste Bedingung für die erfolgreiche Auflegung einer Obligationsanleihe ist natürlich die, daß das Publikum orientiert ist über die innere Lage der Gesellschaft.

Betrachtet man die innere Organisation der Aktiengesellschaft, so fällt der große Unterschied der juristischen Konstruktion und der wirtschaftlichen Situation ins Auge. Wenn man die Bestimmungen des HGB durchsieht, so wird klar, daß die Konstruktion der Aktiengesellschaft eine durchaus demokratische ist, die Entscheidung in der Aktiengesellschaft liegt nach dem HGB ausschließlich in der Generalversammlung. In der Tat liegt die Entscheidung niemals bei der Generalversammlung, sondern entweder beim Vorstand oder beim Aufsichtsrat. Wir haben einen Aufsichtsrat überhaupt

erst seit der ersten Aktiennovelle von 1870, bis dahin gab es nur den Begriff des Verwaltungsrats. Eine Aktiengesellschaft kann heute einen Verwaltungsrat haben, aber der Unterschied zwischen Verwaltungsrat und Aufsichtsrat gibt doch zu denken. Die ältere Aktiengesellschaft war so konstruiert, daß eine Reihe von Personen auftrat, eine Aktiengesellschaft gründete, einen Verwaltungsrat bildete, ein Direktorium mit einem Präsidenten an der Spitze wählte, einen Dienstvertrag mit diesem abschloß und die kleinen Aktionäre überhaupt nicht zur Generalversammlung zuzog, wenn das rechtlich zulässig war, denn nicht der Besitz jeder Aktie gewährte ein Stimmrecht, sondern erst der einer Reihe von Aktien. Die Generalversammlung als solche war eigentlich nichts weiter als ein Institut, das die vorhandenen Bilanzen und den Jahresbericht entgegenzunehmen hatte, das war der Ausdruck des Gesetzes. Es war eine Art Beschaffung von Auditorium für die Aussprache, die der damalige Verwaltungsrat für praktisch hielt, um die nötige Publizität der Gesellschaft zu wahren. Natürlich hatte der Verwaltungsrat zu bestimmen, was das Direktorium tun sollte. Noch heute gibt es solche Aktiengesellschaften. Heute haben wir eine Dreiteilung: die Generalversammlung, den Aufsichtsrat und den Vorstand. Die Generalversammlung bestellt den Aufsichtsrat und der Aufsichtsrat den Vorstand. Sämtliche Beschlüsse sind in der Generalversammlung zu fassen, bei der jeder Aktienbesitzer Stimmrecht hat. Ein Ausschluß von Aktionären ist bei der Generalversammlung rechtlich überhaupt unmöglich.

Für die Kommanditgesellschaft auf Aktien gibt es die Bestimmung, diejenigen Kommanditanteile, die Aktien, die nicht im Aktienbuch eingeschrieben sind, überhaupt nicht zur Generalversammlung zuzulassen. Ein sehr interessanter Fall bei einer Kommanditgesellschaft auf Aktien, bei der so gut wie gar keine Aktionäre stimmberechtigt waren, ist vor einiger Zeit prozessual behandelt. Derartige Ausschlüsse sind nur noch bei der Kommanditgesellschaft auf Aktien möglich.

Wenn wir die Aktiengesellschaften als Körper ansehen, so tritt uns außer diesen drei Organen der Aktiengesellschaft die große Summe der einzelnen Aktionäre entgegen, die sich außerhalb der Generalversammlung nicht kennen. Ist das nun wirklich eine gleichartige Masse? Der Gesetzgeber sagt ja, jede Aktie ist der anderen gleich und jede Aktie gewährt gleiches Recht; das ist aber durchaus nicht der Fall in der Praxis. Es besteht ein Unterschied zwischen den großen und den kleinen Aktionären. Der kleine Aktionär gibt nichts weiter her als das Kapital seiner Aktie, er denkt gar nicht daran, sich etwa an der Verwaltung der Gesellschaft zu beteiligen. Man beklagt jetzt in der Presse ganz allgemein die unglaubliche Indifferenz der kleinen Aktionäre, aber der kleine Aktionär kennt die Verhältnisse seiner Aktiengesellschaft gar nicht, und er kann natürlich auch nichts erreichen. Es handelt sich da gar nicht um einen augenblicklichen Unfug seitens der kleinen Aktionäre, sondern es handelt sich einfach darum, daß der Aktionär gar nichts anderes gewollt hat, als eben nur Kapital hingeben und Rente herausnehmen, wie, das ist ihm vollständig gleichgültig, wenn er nur seine Dividende bekommt. Infolgedessen sind natürlich sämtliche Reformvorschläge von der wirtschaftlichen Seite ganz einfluß- und aussichtslos, selbst wenn man zum Äußersten gehen wollte: die demokratische Verfassung der Aktiengesellschaft aufgeben und man z. B. der Minorität Aufsichtsratposten ohne weiteres konzedieren wollte.

Ein solches Aufsichtsratsmitglied könnte ja nur die Interessen einer Gruppe vertreten, aber nicht wirtschaftliche Interessen der kleinen Aktionäre, denn solche existieren gar nicht als etwas Faßbares. Sie haben nichts weiter als das allgemeine Interesse,

daß die Aktiengesellschaft möglichst viel Dividende bringe. Diesen kleinen Aktionären, die also nur mit wenig Kapital beteiligt sind, steht nun eine ganz andere Gruppe gegenüber: die großen Aktionäre; diese haben etwas ganz anderes im Sinn. Diesen großen Aktionären liegt einmal an der Einlage ihres Kapitals, aber weil sie eine Einlage in größerem Maße gewährt haben, verlangen sie neben dem Bezug von Dividende und neben dem Wunsche, daß ihre Aktien hoch im Kurs stehen, einen positiv von ihnen selbst oder von ihren Delegierten ausgeübten Einfluß auf die Verwaltung der Aktiengesellschaft. Diese großen Aktionäre sind natürlich zuerst die Gründer, dann diejenigen, die besondere Interessen mit der Aktiengesellschaft verknüpfen, sie bestimmen den Vorstand und den Aufsichtsrat.

Der Typus der Aktiengesellschaft aber geht dahin, daß sich in ihr eine Mischung von großen und kleinen Aktionären findet. Die Generalversammlung selbst hat die Bestimmung, die definitive Entscheidung in allen für die Existenz der Gesellschaft nötigen Fragen zu treffen, d. h. also, es kann keine sachliche Änderung vorgenommen werden ohne Zustimmung der Generalversammlung. Ihr steht ausschließlich die Wahl der Mitglieder des Aufsichtsrats und die Entscheidung darüber zu, ob die Bilanz richtig aufgestellt ist, schließlich ist die Frage der Gewinnverteilung ausschließlich in das Ermessen der Generalversammlung gestellt. Das sind zweifellos sehr wichtige Gesichtspunkte. Aber die Generalversammlungen zeigen, wie stark die Wirklichkeit abweicht von diesen Vorschriften.

Die Generalversammlung ist selten etwas anderes als das Jasage-Institut, das nur zu sanktionieren hat, was der Aufsichtsrat beschlossen hat. Die Wahl zum Aufsichtsrat selbst steht der Generalversammlung zu, in der Tat aber werden Vorschläge seitens des Aufsichtsrats, der schon vorhanden ist seit dem Moment der Gründung, vorgelegt, von ihm werden diese Wahlen vorgeschlagen, die Generalversammlung sagt ja. Daß ein Aufsichtsrat abhängig wäre von der Generalversammlung, ist ein Fall, der selten vorkommt. Er tritt ein, wenn im Aufsichtsrat zwei gleich kräftige Parteien einander gegenüberstehen und derartige Zerwürfnisse im Aufsichtsrat eingetreten sind, daß es nicht mehr zu einem gedeihlichen Zusammenarbeiten der Mitglieder des Aufsichtsrats reicht; wenn dann für eine Generalversammlung Neuwahlen bevorstehen, um eine Reihe von Mitgliedern zu ersetzen, dann hat allerdings die Generalversammlung ein wirklich entscheidendes Recht über die weitere Entwicklung der Aktiengesellschaft. Nur in dem Falle liegt die Entscheidung bei ihr. Es fragt sich dann, auf welche Seite sie sich stellt. — Die Bilanzprüfung ist natürlich Aufgabe des Aufsichtsrats. Er hat die Vorschläge des Vorstandes zu prüfen, aber die Bilanz ist nicht genehmigt, bevor nicht die Generalversammlung ihr Votum abgegeben hat. Eine Prüfung durch die Generalversammlung ist aber durch die Bestimmung, daß die Unterlagen jedem Aktionär zur Verfügung stehen müssen, nicht gewährleistet. Eine Prüfung der Grundlagen der Bilanz seitens der Generalversammlung erfolgt in der Praxis nie. Es gibt zwar eine Methode: die Einsetzung von Revisoren in der Generalversammlung, bei der dann die Revisoren, bevor die Generalversammlung eine Entscheidung fällt, eine derartige Prüfung vornehmen. Sie hat aber geringe praktische Bedeutung.

Festzuhalten ist, daß die Frage der Gewinnverteilung praktisch richtig nur zu lösen ist auf Grund der Kenntnis der Grundlagen der Bilanz; infolgedessen ist es an sich unmöglich, daß die Generalversammlung die Angelegenheit der Gewinnverteilung auf Grund der Bilanz richtig beurteilt; sie wird gebunden sein an die Vorschläge, die Vorstand und Aufsichtsrat ihr unterbreiten.

Die Vorstandsmitglieder werden regelmäßig durch den Aufsichtsrat gewählt, gesetzlich zulässig ist auch, daß sie von der Generalversammlung gewählt werden, in der Praxis kommt das kaum vor. Die Fragen der Bestellung der Vorstandsmitglieder sind im Handelsgesetzbuche geregelt. Auf Grund dieser Bestimmungen werden die Vorstände bestellt; es kann sich um eine oder mehrere Personen mit selbständiger Befugnis nebeneinander handeln, es kann auch eine kollegiale Behörde bestellt werden.

Sehr wichtig ist die Bestimmung des Aktienrechts, daß die Mitglieder des Vorstandes einer Aktiengesellschaft ganz ohne jede Rücksicht auf ihren Anstellungsvertrag zu jeder Stunde seitens desjenigen Organs, das sie berufen hat, entweder Generalversammlung oder Aufsichtsrat, gewöhnlich der letztere, abzuberufen sind. Sie können ohne weiteres vom Dienst enthoben werden. Wegen der durch das Handelsgesetzbuch vorgesehenen freien Stellung des Vorstandsmitgliedes gegenüber dem Aufsichtsrat ist diese Bestimmung notwendig geworden, in der Praxis hat sie eigentlich im allgemeinen nicht viel zu bedeuten. Ein Konkurrenzverbot besteht für die Vorstandsbeamten natürlich; es handelt sich nicht etwa um eine Konkurrenzklausel, sondern um ein Konkurrenzverbot. Natürlich wird in der Praxis nichts erwünschter sein, als daß Vorstandsmitglieder der einen Gesellschaft zugleich leitende Stellen in einer anderen Gesellschaft innehaben, nur nicht als Direktoren. Für seine Geschäftstätigkeit haftet der Vorstand mit der Haftung des sorgfältigen Kaufmanns. Seine Haftung liegt nicht etwa in seinem Verhältnis zu dem einzelnen Aktionär, sondern er haftet nur der Gesellschaft; daraus folgt, daß z. B. bei betrügerischer Geschäftsführung das einzelne Vorstandsmitglied nicht angegriffen werden kann von dem einzelnen Aktionär, sondern nur von der Gesellschaft als solcher.

Seit 1870 erst haben wir den Aufsichtsrat; der Verwaltungsrat der früheren Zeit ist an sich nicht dasselbe. Der Unterschied liegt darin, daß der Verwaltungsrat der früheren Zeit bis 1870 in erster Linie die Gesellschaft verwalten sollte, d. h. ihr seine wirtschaftliche Fähigkeit zur Verfügung stellen sollte für Erwerbszwecke. Es war selbstverständlich, daß dieser Verwaltungsrat, der aus den an der Gesellschaft am lebhaftesten beteiligten Personen sich zusammensetzte, auch die Verwaltung der Gesellschaft, soweit sie durch Beamte geführt wurde, kontrollieren sollte, wie es jeder Geschäftsmann tut. Jeder Privatunternehmer kontrolliert die Direktoren, die er anstellt; in derselben Form sollte der alte Verwaltungsrat auch nebenher den Betrieb der Gesellschaft kontrollieren. Da hat die Novelle von 1870 einen grundlegenden Unterschied gemacht. Die Verwaltungstätigkeit des alten Verwaltungsrats, der fortan Aufsichtsrat heißt, wird in dieser nicht genannt. Diese seine Tätigkeit ist im Handelsgesetzbuch vollständig verschwunden. Positiv wird nur hervorgehoben, daß der neue Aufsichtsrat zu kontrollieren, nicht aber einen Einfluß auf die Verwaltung auszuüben hat. Infolgedessen klafft hier natürlich eine Lücke zwischen der Vorschrift im Handelsgesetzbuch und der Praxis, denn der Aufsichtsrat hat vielfach die Tätigkeit des alten Verwaltungsrats beibehalten. Was überwiegt, ist Tatfrage im einzelnen Fall. Infolgedessen ist die Praxis heute schon dahin gegangen, daß diese Kontrolltätigkeit des Aufsichtsrats bei den großen Gesellschaften zum großen Teil schon in die Hand von Treuhandgesellschaften und ähnlichen Organen übergegangen ist; in der Praxis ist der Aufsichtsrat von dieser Tätigkeit, in der er nach der Ansicht des Handelsgesetzbuches seine Tätigkeit erschöpfen soll, mehr oder weniger entlastet. Bei diesen Gesellschaften findet die Kontrolle natürlich noch immer statt durch Aufsichtsräte, weil sie weniger Kosten macht als die andere Form und weil das Gesetz sie vorschreibt. Im

ganzen hat aber der Aufsichtsrat als dasjenige Organ der Aktiengesellschaft zu dienen, das die Geschäfte der Aktiengesellschaft möglichst weit hinausträgt; er hat das Organ zu sein, das die einzelnen wirtschaftlichen Betriebe in Verbindung miteinander setzt. Erreicht wird das dadurch, daß in immer steigendem Maße die einzelnen Gesellschaften miteinander verknüpft werden durch Teilnahme der einen am Aufsichtsrat der anderen Gesellschaft. In der Praxis ist es so weit gekommen, daß vor jetzt etwa zwei Jahren bei einer Generalversammlung einer großen Aktiengesellschaft ohne weiteres erklärt werden konnte, als Bedenken gegen eine sehr hohe Tantieme entstanden waren, daß solche hinfällig seien, man müsse gerade die Aufsichtsratsmitglieder so hoch honorieren, weil das gesamte Acquisitionsgeschäft überhaupt ausschließlich in der Hand der Mitglieder des Aufsichtsrats liege.

Im Handelsgesetzbuch ist von dieser wichtigsten Tätigkeit des Aufsichtsrats so gut wie gar keine Rede. Man wird nun, weil doch einmal eine ganz positive wirtschaftliche Arbeit von den Aufsichtsratsmitgliedern verlangt wird, die das Handelsgesetzbuch nicht kennt, die aber in der Praxis unvermeidlich getan werden muß, fragen müssen: Ist der Aufsichtsrat überhaupt imstande, die wirkliche Informierung der Generalversammlung sicherzustellen? Und liegt das im Interesse der Aktiengesellschaft? Man muß diese Frage mit nein beantworten, der Aufsichtsrat ist nicht dazu imstande. Er hat auch kein Interesse, sich aus seiner herrschenden Position zu verdrängen. Man muß weiter fragen: Ist denn eine Bestimmung, die die Haftung des Aufsichtsrats über das heutige Maß hinaus verlangt, überhaupt irgend etwas, was man erstreben kann? Die Frage ist wieder mit nein zu beantworten, gerade deswegen, weil, wenn man nach dieser Richtung hin Verschärfung verlangt, überhaupt nicht mehr die geeigneten Leute für die Übernahme von Aufsichtsratsstellen zu finden sind. Wenn man die Haftung noch weiter als heute verschärft, dann wird man die Leute, die in der Tat geeignet sind, die Gesellschaft mit ihrem sachverständigen wirtschaftlichen Rat zu versehen, die imstande sind, ein Vordringen des Betriebes auf dem Weltmarkt vermöge ihrer Beziehungen durchzuführen, nicht mehr finden, sondern man wird Revisoren in den Aufsichtsrat hineinbekommen, und man wird sich veranlaßt sehen, eine vierte Organisation einzuführen, nämlich den alten Verwaltungsrat wieder aufleben zu lassen.

Eine besondere Form der Aktiengesellschaft stellen die großen Aktiengesellschaften dar, die überhaupt nicht die Absicht hatten, fremdes Kapital heranzuziehen. Diese Unternehmungen haben zwar die Form der Aktiengesellschaft, es bedeutet das aber nichts weiter als einen Wechsel auf die Zukunft; es ist da mit der Möglichkeit gerechnet, später einmal die Aktien einer derartigen Gesellschaft auf den Markt bringen zu können.

b) Die Kommanditgesellschaft auf Aktien. Die Kommanditgesellschaft auf Aktien ist nicht, wie man annehmen könnte, eine umgemodelte Kommanditgesellschaft, sondern sie ist eine umgemodelte Aktiengesellschaft. Das Wesentliche ist nämlich nicht die Kommanditistenbeteiligung, sondern die Aktienbeteiligung. Früher war die Sache umgekehrt, infolgedessen war bei den alten Kommanditgesellschaften auf Aktien die Kommanditistenbeteiligung das Wichtigste, bei den neuen ist es umgekehrt. In der Praxis hat sich die neue Form der Kommanditgesellschaft so gut wie gar nicht durchgesetzt, die alte ist aber noch praktisch. Bei den Aktiengesellschaften bestand das Konzessionssystem bis 1870, für Kommanditgesellschaften auf Aktien bestand keine Konzessionspflicht, infolgedessen wurde da, wo die Konzession für die Aktiengesellschaft nicht zu erreichen war, die Form der Kommanditgesellschaft

auf Aktien gewählt. Das Charakteristische ist das, daß es bei ihr zwei verschiedene Gruppen von Gesellschaftern gibt: erstens solche, die sich auf Bezahlung einer Einlage, die Kommanditanteil heißt und der Aktie entspricht, beschränkenden, und eine zweite, die persönlich haftenden Geschäftsinhaber oder Gesellschafter. Auf diese Weise wird also ein ganz besonders enger Kreis von reichen, meistens sehr reichen, mit ihrem ganzen Vermögen haftenden Gesellschaftern herzugezogen. Der Kreis der aktiven Teilhaber ist also sehr viel enger als bei der Aktiengesellschaft. Diese Form hat heute, sie wird nur von wenigen großen Instituten verwandt, eine ganz bestimmte Seite, die sie hervorragen läßt, nämlich die Eigenschaft, den Kreis derjenigen Personen, die einen wirklich entscheidenden Einfluß auf die Entwicklung des Unternehmens besitzen sollen, von vornherein ganz bestimmt zu beschränken. Bei der Aktiengesellschaft liegt immer die Möglichkeit vor, daß irgendeine Person durch Aktienaufkauf am offenen Markt, gegen den Willen der herrschenden Partei die Herrschaft über das Unternehmen erwerben kann, während bei der Kommanditgesellschaft auf Aktien das ausgeschlossen werden kann.

c) Die jüngste Bildung des Handelsrechts ist die Gesellschaft mit beschränkter Haftung. Auch bei ihr handelt es sich analog der Aktiengesellschaft um eine unter eigenem Namen auftretende Vereinigung von Personen mit einem ziffernmäßig festgelegten Kapital, das in Anteile zerlegt wird. Auch die G. m. b. H. ist eine reine Kapitalgesellschaft wie die Aktiengesellschaft, weil auch bei ihr die Beitragspflicht der Gesellschafter auf den Betrag ihrer Anteile beschränkt sein soll. Die G. m. b. H. bietet aber entsprechend ihrer Entstehungsgeschichte gegenüber der Aktiengesellschaft eine Reihe von Mitteln, die Beteiligung von Personen und Kapital an ihr freier zu stellen, als dies nach dem Aktienrecht zulässig ist. Die G. m. b. H. ist geboren aus dem Gedanken heraus, daß für den Fall, daß es sich zwar um die Notwendigkeit gesellschaftlicher Beschaffung von Kapital handelt, jedoch die Möglichkeit besteht, dieses Kapital durch Zusammenfassung weniger Personen zusammenzubringen, die strengen Formvorschriften, die für die Aktiengesellschaft, die sich immer an den offenen Geldmarkt wendet, im Interesse leichterer Geschäftsführung der Teilhaber zu mildern. Man kann sagen, der Wirkungskreis der G. m. b. H. beginnt da, wo es sich darum handelt, durch gesellschaftlichen Zusammenschluß weniger Mitglieder ein im Besitz dieser Personen frei verfügbares Kapital zu koalieren. Die Meinung des Gesetzgebers geht dahin, daß der G. m. b. H.-Anteil ein Vermögensteil von Gesellschaftern sein soll, mit dessen Einlage in die G. m. b. H. der Betreffende sein Vermögensrisiko für den vorliegenden Fall beschränken will, um nicht, wie bei den übrigen Gesellschaftsformen, stärkerer Inanspruchnahme ausgesetzt zu sein. Das Charakteristikum der G. m. b. H. ist die Geschäftsführung durch Mitglieder, wenngleich das Gesetz auch eine Geschäftsführung durch Angestellte kennt. Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Aktiengesellschaft und der G. m. b. H. liegt in der verschiedenen Realisierbarkeit des G. m. b. H.-Anteils gegenüber der Aktie durch den Aktionär. Sie ist wesentlich geringer als die der Aktie. Der gewollte Effekt dieser Situation ist infolgedessen eine wesentlich stärkere Bindung des Gesellschafters an die G. m. b. H. wie die des Aktionärs an die Aktiengesellschaft. Während wir oben feststellen mußten, daß die tatsächliche Ingerenzmöglichkeit des Aktionärs auf die Aktiengesellschaft, abgesehen von dem Fall, in dem es sich um Groß-Aktionäre handelt, relativ sehr gering ist, ist die reguläre Einflußmöglichkeit des Teilhabers einer G. m. b. H. fast unbeschränkt. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Formen der Gesellschaft liegt aber in der bei der Aktiengesellschaft wenigstens formell vorhandenen großen Publizität und der bei der

G. m. b. H. bewußt verringerten Publizität der Geschäftsführung. Sogar die Veröffentlichung der Bilanz ist bei der G. m. b. H. vom Gesetz nicht gefordert, außer bei Bankbetrieben.

Es handelt sich bei der G. m. b. H. eben um ein Gebilde des modernen Rechts — die neue Form ist durch Gesetz vom 20. April 1892 erst geschaffen —, das wegen der Möglichkeit fabelhaft leichter Anpassung dieser Gesellschaftsform an die verschiedensten Verhältnisse des wirtschaftlichen Lebens seine Verwendung bei fast allen Gelegenheiten, bei denen nicht der offene große Kapitalmarkt in Anspruch genommen werden muß, ratsam erscheinen läßt. Die G. m. b. H. ist ein typisches Gebilde der reichen Differenzierung, die das moderne Wirtschaftsleben gezeitigt hat. Ihre wirtschaftlichen Erfolge sind unmeßbar, allerdings soll nicht verschwiegen werden, daß gerade wegen der vielseitigen Verwendbarkeit der G. m. b. H. auch mit ihr Mißbrauch getrieben worden ist. Für technisch-industrielle Betriebe bietet sie heute die leichteste Möglichkeit der Umwandlung der individuellen Unternehmung in die Gesellschaftsform, das Verfahren ist gegenüber der Methode der Umwandlung in eine Aktiengesellschaft sehr einfach.

Gegenüber den selbständigen Unternehmungen technisch-industrieller Großorganisation und gegenüber den gesellschaftlichen Unternehmungen aller Formen stehen die in neuerer Zeit erwachsenen Kartelle, Syndikate und Trusts. Es ist bekannt, daß es in Deutschland zur Ausbildung von Trusts bisher nicht gekommen ist. Der Grund wird wesentlich darin zu suchen sein, daß bei der durch die deutsche Wirtschaftspolitik gezeitigten Situation des wirtschaftlichen Lebens Kartelle und Syndikate die Möglichkeit der Vereinigung, Verabredung und Durchführung gemeinsamer Beschlüsse genugsam gewährleisten. Kartelle und Syndikate können sich sowohl auf das Stadium der Produktion allein wie auf das des Absatzes beziehen; die Verabredung über gemeinsam durchzuführende Produktionseinschränkungen oder prozentuale Produktionserhöhungen, Vereinbarungen über die Höhe von Grundpreisen und Absatzpreisen in kleinen oder größeren Gebietsteilen und ähnliches mehr können den Inhalt der Kartelle bilden; Voraussetzung für ihre tatsächliche Wirksamkeit ist immer der Verzicht der Einzelunternehmung wie der gesellschaftlichen auf isoliertes Vorgehen, sei es in der Produktion, sei es im Absatz, der Verzicht auf die absolute Selbständigkeit des Unternehmens. Auch an dieser Stelle zeigt es sich, wie stark im Lauf der Entwicklung die absolute Unabhängigkeit der Unternehmung seit dem Abnehmen der Bedeutung des patriarchalischen Systems nicht allein gegenüber ihren Arbeitern und sonstigen Angehörigen, sondern auch der Konkurrenz gegenüber geschwunden ist. Die Verschanzung hinter den Wällen der eigenen Burg ist für den Unternehmer von heute in vielen Fällen unmöglich geworden. Der Zusammenschluß gleichartiger Unternehmungen, die Organisation, sei es der Produktion oder des Absatzes oder der Vertretung gemeinsamer Interessen, ist das Charakteristische dieser Entwicklung. So kommt es, daß die Interessenvertretungen aller Art für die technisch-industrielle Produktion eine ganz besondere Rolle spielen. Schon Syndikate und Kartelle können durch die Aufwendung bedeutender Mittel, die ihnen durch Umlage oder ähnliche Maßregeln reichlich zur Verfügung zu stehen pflegen, erfolgreich gemeinsame Propaganda mit Aussicht auf bedeutende wirtschaftliche Erfolge betreiben. Für die feinere Vertretung der Interessen genügen auch sie nicht mehr.

Schon lange hatte die Industrie in den Handels- und Handels- und Gewerbekammern eine mehr oder weniger ausreichende Interessenvertretung behördlicher Art gefunden. Es kann kaum bezweifelt werden, daß diese Art der Interessenvertretung der Industrie

von wesentlichem Nutzen gewesen ist. Viel wichtiger ist aber die sogenannte freie Interessenvertretung für die technische Großorganisation wie für alle wirtschaftlichen Betriebe geworden. Der freiwillige Zusammenschluß der zu gemeinsamen Interessen Verbundenen hat in Deutschland zur Organisation industrieller Verbände geführt, die nach Hunderten zählen und in intensivster Weise durch Aufklärung und den Druck der in ihnen versammelten wirtschaftlichen Macht Gesetzgebung und Verwaltung, äußere und innere Wirtschaftspolitik im Lauf der letzten Jahrzehnte maßgebend beeinflußt haben. Es kann nicht geleugnet werden, daß den amtlichen Vertretungen der Industrie durch die freien Interessenvereinigungen zu einem beträchtlichen Teil das Wasser abgegraben ist, daß sie die Führung der Propaganda für industrielle Entwicklung an die freien Interessenvertretungen abgegeben haben, und diesen muß nachgerühmt werden, daß sie es verstanden haben, in der Periode, in der Deutschland vom überwiegenden Agrarstaat zum überwiegenden Industriestaat sich entwickelt hat, es nicht daran haben fehlen lassen, die Erkenntnis von der Bedeutung unserer industriellen Entwicklung für die gesamte Entwicklung Deutschlands stets hervorgehoben zu haben. Leider immer noch nicht mit dem Erfolg, daß die politische Vertretung des Volkes sich ebenfalls mit dieser Überzeugung erfüllt hätte. Sache der nächsten Generation wird es sein, solchen Ideen auch in den politischen Körperschaften durch geeignete Vertretung nicht allein Gehör, sondern auch Erfolg zu verschaffen.

3. TECHNIK UND KAPITAL

Daß das Kapital als Basis der modernen technischen Großorganisation unentbehrlich ist, ist im vorigen Kapitel über die Form der technischen Großorganisation gezeigt. Wie wird nun das für diese Organisation erforderliche Kapital beschafft? Wir sehen, die technische Einzelunternehmung pflegt entweder aus handwerklichen Betrieben hervorzugehen oder sie tritt zur Verwirklichung einer technischen Idee als selbständige Fabrikunternehmung eines Einzelunternehmers ins Leben. In beiden Fällen pflegt das ursprüngliche, zur Anlage des Betriebes erforderliche Kapital vom Handwerker oder Großunternehmer aus eigenen Mitteln beschafft zu werden. Die Zeiten, in denen niemand daran dachte, dem beginnenden Unternehmer irgendwie Anlagekapital zur Verfügung zu stellen, sind noch nicht lange vorbei. In einzelnen Fällen ist das auch heute noch ebenso. Der Unternehmer wird von vornherein auf sich selbst angewiesen sein. Sein Vermögen wird das Anlagekapital sein müssen, sein Einkommen aus seinem Betriebe wird, soweit es nicht konsumiert wird, den Zuwachs an Anlagekapital liefern müssen. Erst in unserer heutigen Verkehrsperiode, in der mobiles Kapital nach Anlage sucht, hat sich dem selbständigen Einzelunternehmer die Möglichkeit eröffnet, bei vorhandener Kreditwürdigkeit oder zur Durchführung einer Geldgebern plausiblen technischen Idee fremdes Kapital finden zu können. Private Gelder werden ihm zur Verfügung gestellt, Familiengelder, Gelder von Bekannten, guten Freunden, und nicht zuletzt sind Banken und Bankiers bereit, vertrauenswürdigen Unternehmern gegen Gewährung einträglicher Verzinsung Anlagekapital zur Verfügung zu stellen. Je größer das Unternehmen wird, um so leichter pflegt die Beschaffung neuen Kapitals für sie zu sein. Der vorhandene Umfang der Unternehmung hebt die Kreditwürdigkeit und damit die Möglichkeit weiterer Expansion. Man kann heute davon sprechen, daß für rationelle Ausgestaltung vorhandener rentabler Betriebe in den Grenzen, die durch die Vertrauenswürdigkeit der Betriebsleitung und durch die Situation des Kapitalmarktes gegeben sind, jeder Unternehmung Anlagekapital zur Durchführung ihrer Zwecke zur Verfügung steht.

Noch günstiger als die Einzelunternehmung liegt die Frage der Kapitalbeschaffung bei den gesellschaftlichen Unternehmungen mit Publizitätspflicht. Die G. m. b. H. steht in dieser Beziehung in ziemlich gleicher Linie mit der selbständigen Einzelunternehmung. Für gesellschaftlich aufgebaute technische Großorganisationen sind die Banken und Bankiers die Führer der von ihnen beratenen Teile des Kapitalistenpublikums, die Verwalter des großen Reservoirs, aus dem die Kosten der Begründung für die Anlage neuer Unternehmungen und die Kosten der Expansion vorhandener Betriebe regelmäßig Schritt für Schritt entnommen zu werden pflegen.

Die Methode der Gewährung der nötigen Anlagekapitalien pflegt bei der Gründung die Übernahme oder der Ankauf von Aktien, bei der Finanzierung schon vorhandener Unternehmungen die Methode der Gewährung von Bankkredit zu sein. Bankkredite pflegen nach längerer Dauer regelmäßig auf dem Wege der Aktienemission abgelöst oder auf dem Wege der Emittierung einer Obligationen-Anleihe an den Markt gebracht zu werden, um dadurch dem bisherigen Geldgeber für das übernommene Risiko der Kreditgewährung ein Äquivalent zu bieten und um fest investierte Bankkredite in mobile Form zu bringen und dadurch eine Verteilung des Risikos der weiteren Entwicklung mit einer Anteilnahme an der Gesellschaft selbst auf weitere Kreise zu bewirken.

Aber auch aus anderen Kreisen und von seiten der Produktion selbst fließen der kapitalistischen Unternehmung Kapitalien zu. Resultate von Konkurrenzen und Preisen vermögen der vorhandenen Unternehmung neue Kapitalien zuzuführen, staatliche Subventionen kommen bei vorliegendem staatlichem Interesse in Betracht, und selbst die Beteiligung von Arbeitern und Angestellten der Unternehmung an ihr, die durch Gewährung relativ hoher Verzinsung für deren Depositen ermöglicht wird, führt großen Unternehmungen Kapital zu. Die wesentliche Kapitalquelle ist aber immer der offene Markt, der durch die Vermittlung von Bank und Börse in Anspruch genommen wird. Selbstverständlich wird durch diesen Modus die technische Großorganisation in den großen Strom des wirtschaftlichen Lebens hineingerissen und noch weiter, als es sonst der Fall sein würde, aus ihrer Isoliertheit und Beschaulichkeit alleinigen Daseins hinausgeführt. Gewiß liegen darin Lebensfragen und Gefahren für die Existenz der technischen Großorganisation. Solche müssen aber getragen werden, weil die großen Kapitalzuflüsse, die die moderne wirtschaftliche Unternehmung aufsaugen muß, ohne Vermittlung des offenen Marktes selten zur Verfügung stehen würden. In einzelnen Fällen hat diese Verflechtung der technischen Großorganisation mit dem Geld- und Kapitalmarkt schon dahin geführt, daß man bei manchen Unternehmungen ursprünglich rein technischer Natur daran zweifeln kann, ob sie noch in der Hauptsache technische Unternehmungen sind, die sie waren, oder ob sie nicht vielmehr selbst schon neue kapitalistische Gebilde mehr finanzieller Natur geworden sind, denen die technische Produktion nur noch den Urgrund und ein Anlehnen für ihr wirtschaftliches Wirken darbietet.

Auf demselben Wege, wie Anlagekapital für die technische Großorganisation beschafft wird, pflegt ihr auch Betriebskapital zugeführt zu werden. Allerdings sollte immer festgehalten werden, daß die Hauptquelle für neues Betriebskapital der Überschuß vergangener Produktionsperioden sein sollte. Bei der rapiden Entwicklung, die für industrielle Unternehmungen das schnelle Fortschreiten der Technik bei der stets treibenden Peitsche der Konkurrenz häufig erforderlich macht, pflegt aber häufig der Fall einzutreten, daß solche aus Einkommen herstammenden Mittel zur Aufrechterhaltung der Konkurrenzfähigkeit für Großbetriebe nicht ausreichen. Dann

tritt wieder der Bankkredit und seine Realisierung in den oben erwähnten Formen hervor.

Eins der wichtigsten Mittel zu rationeller Ausgestaltung der Betriebe und zu rationeller Kapitalverwendung bildet die dem Einkommen des Einzelunternehmers und einiger Gesellschaftsformen entsprechende Dividende der Aktiengesellschaft und der G. m. b. H. Wo der Reingewinn aus irgendwelchen Gründen ohne Rücksicht auf zukünftige Ansprüche des Unternehmens ausgeschüttet wird, ohne daß Teile davon in genügendem Maße zu Kapitalrücklagen für die weitere Existenz des Unternehmens verwendet werden, sind die Unternehmungen für Inbetriebhaltung und Expansion ausschließlich auf Bankkapitalien angewiesen. Die hervorragendste Aufgabe einer großzügigen, auf natürlicher Basis aufgebauten Dividendenpolitik ist nicht die ausschließliche Verwendung an sich erarbeiteter Gewinne für die Ausschüttung, sondern ihre Ansammlung zu stillen Reserven des Betriebes. Nach dem Vorbild von deutschen Großbanken sind industrielle Betriebe verschiedensten Umfangs in immer steigendem Maße dazu übergegangen, eine solche Dividendenpolitik dauernd durchzuführen. Wo derartige Maßnahmen durch längere Perioden hindurch weitsichtig durchgeführt sind, pflegt sich für die technische Großorganisation eine relativ große Unabhängigkeit vom Kapitalmarkt nach der Richtung hin auszubilden, daß es durch sie gelingt, den Zeitpunkt für die Zuführung fremder Kapitalien in den Betrieb von der Unternehmung aus zu bestimmen, den Termin zu wählen, an dem diese am billigsten für sie vorgenommen werden kann. Vom Standpunkt der Unternehmung aus ist natürlich volle finanzielle Unabhängigkeit vom Kapitalmarkt und seinen Organen das Wünschenswerte, weit wichtiger ist aber für sie die Möglichkeit, bei Kapitalansprüchen an den Markt mit seinen Organen auf gleichem Fuße verhandeln zu können. Daher ist die Existenz innerer Reserven und einer vorsichtig abwartenden Dividendenpolitik, die für sie die Voraussetzung bildet, für das definitive Schicksal der Unternehmung von vitaler Bedeutung.

Andernfalls können Verhältnisse eintreten, in denen Banken und Bankiers, die besten und notwendigen Freunde der technisch-industriellen Großorganisation, sich zu Herren des Unternehmens entwickeln. Die Entwicklung kann so weit gehen, daß man von vollständiger finanzieller Abhängigkeit solcher Unternehmen sprechen kann. Die Selbständigkeit der technischen Großunternehmung ist nur möglich, gestützt auf Kapitalbesitz, der der Bedeutung und dem Umfange der Unternehmung selbst entspricht.

Von gar nicht zu überschätzendem Einfluß auf die Zukunft der Unternehmung ist die Wirtschafts- und Handelspolitik, die innere und soziale Politik, ja auch die äußere Politik des Landes, in dem das Einzelunternehmen seinen Produktionsstandort hat. Für viele Unternehmen von internationaler Bedeutung mit einer Reihe von Produktionsstandorten innerhalb und außerhalb der Grenzen des Landes, in dem die Mutterunternehmung erwachsen ist, vermögen alle Maßnahmen politischer Natur in ihren Konsequenzen die Tätigkeit der industriellen Unternehmung entscheidend in ihren Resultaten zu beeinflussen. Die Entwicklung der Unternehmung, der Ausbau, damit ihre Existenz kann von der Frage abhängig sein, ob durch Maßnahmen der äußeren Handelspolitik der Bezug von Rohmaterial zu Preisen möglich bleibt, die eine Konkurrenz für den Export auf den Weltmarkt gestattet. Fragen sozial-politischer Natur können die Lohnverhältnisse derartig beeinflussen, daß die Stellung eines Unternehmens auf dem inneren oder äußeren Markt entscheidend verschoben wird, und Maßnahmen der Verwaltung oder solche rein politischer Natur, die etwa den Zuzug an sich für die Produktion nötiger ausländischer Arbeitermassen verhindern, können

Industrien auf das tiefste schädigen. Es bedarf daher neben allen anderen Maßnahmen innerer Organisation des Unternehmens für dieses ohne weiteres auch der lebhaften Anteilnahme der Betriebsleitung an sämtlichen politischen Fragen, um jederzeit gerüstet zu sein, drohenden Gefahren durch Teilnahme am politischen Leben begegnen und auftauchende Möglichkeiten der Ausnutzung internationaler Lagen rechtzeitig benutzen zu können.

Man wird den deutschen Industriellen das Lob nicht versagen können, daß sie Hand in Hand mit dem allmählich erstarkten deutschen Kapital ihre Betriebe in bewunderungswürdiger Weise ausgestaltet und der deutschen Industrie im Inlande die führende Stelle innerhalb der deutschen Volkswirtschaft gesichert haben. Sie haben ihr im Wettbewerb mit allen, teilweise älteren Konkurrenten den Weltmarkt erobert. Durch die Verbindung von Technik und Kapital hat die deutsche Industrie, auf wissenschaftlicher Basis erwachsen und täglich erfüllt von dem Zuströmen neuer, in strenger wissenschaftlicher Arbeit errungener Ideen, Deutschland groß gemacht. Die Technik hat ihren Siegeslauf durch die Welt, gestützt und geführt vom Kapital, angetreten und führt die deutsche Industrie von Jahr zu Jahr zu neuen Erfolgen. Daß diese Erfolge die deutsche Industrie aus dem engen Umkreis der Grenzen des Deutschen Reiches hinausgetragen und ihr einen Einschlag internationaler Bestrebungen und damit internationaler Erfolge gebracht haben, ist nicht zu verkennen, aber auch nicht zu bedauern. Daß deutsche Technik und deutsche Industrie heute nicht nur national, sondern auch international sind, ist eine der größten Errungenschaften des deutschen Volkslebens und bedeutet trotz der Möglichkeit dadurch eintretender internationaler Verwicklungen das große Glück internationaler Verflechtung friedlicher wirtschaftlicher Interessen.

b89083915348
b89083915348a

89083915348

B89083915348A